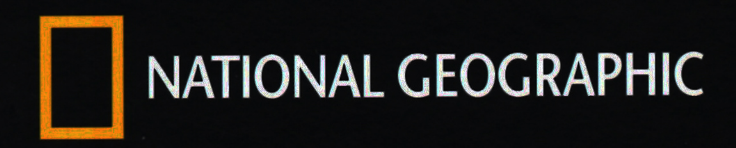
LA QUÍMICA MODERNA

LAVOISIER

La revolución está en el aire





ANTOINE-LAURENT DE LAVOISIER es considerado el fundador de la química moderna. En 1789, el mismo año que la Revolución francesa arrancaba con la toma de la Bastilla, el francés formuló la ley de conservación de masas, y la alquimia medieval dio paso a una nueva ciencia: la química. Poco antes había dado nombre al elemento imprescindible para la vida, el oxígeno, y unos años después propondría el Sistema Métrico Decimal. Reformador social infatigable, vislumbró un estado moderno gobernado por la razón, cuya riqueza estaría basada en una educación universal y en la ciencia. Los cargos públicos que desempeñó le llevaron a comparecer ante el tribunal revolucionario, que lo ejecutó en la misma plaza que a Luis XVI.

LA QUÍMICA MODERNA

LAVOISIER

La revolución está en el aire



A mi marido, mi primer descubrimiento en la facultad de química y coautor de mis dos mejores experimentos: mis hijos.

ADELA MUÑOZ PÁEZ es catedrática de Química Inorgánica de la Universidad de Sevilla y miembro del Instituto de Ciencia de Materiales de Sevilla, del CSIC. Escribe libros de divulgación así como artículos sobre mujeres científicas.

© 2013, Adela Muñoz Páez por el texto
© 2013, RBA Contenidos Editoriales y Audiovisuales, S.A.U.
© 2013, RBA Coleccionables, S.A.

Realización: EDITEC

Diseño cubierta: Llorenç Martí

Diseño interior: Luz de la Mora

Infografías: Joan Pejoan

Fotografías: Aci-online: 87ad, 99b; Age Fotostock: 45, 65a, 97, 99ai, 119b, 141; Album: 31a, 65b; Archivo RBA: 25, 35, 49, 56, 59, 75, 85, 87ai, 92, 103, 107, 121, 137, 139; Biblioteca del Congreso de Estados Unidos: 73; Biblioteca Nacional de Francia: 31; The Bridgeman Art Library: 115, 119ad; Anton Lefterov: 87b; Museo Carnavalet, París: 119ai; Museo Metropolitano de Arte de Nueva York: 89; Museos Reales de Bellas Artes de Bélgica: 129; Marie-Lan Nguyen: 99ad; William R. Shepherd: 19; The Picture Desk: 67; Smithsonian Libraries: 27.

Reservados todos los derechos. Ninguna parte de esta publicación puede ser reproducida, almacenada o transmitida por ningún medio sin permiso del editor.

ISBN: 978-84-473-7670-4
Depósito legal: B-12131-2016

Impreso y encuadernado en Rodesa, Villatuerta (Navarra)

Impreso en España - *Printed in Spain*

Sumario

Introducción

A finales del siglo XVIII, al grito de *Liberté, egalité, fraternité* («Libertad, igualdad, fraternidad»), los reyes de Francia dejaron de detentar el poder por la gracia de Dios, perdiendo literalmente la cabeza en el transcurso de la revuelta. Poco antes la materia había sufrido una transformación no menos drástica: dejó de estar formada por los cuatro elementos tradicionales —tierra, fuego, aire y agua— para pasar a estar constituida por los elementos químicos nombrados y enumerados por el ciudadano Lavoisier.

Cuando Antoine Lavoisier nació en 1743 reinaba en Francia Luis XV, que había heredado la corona, que no el esplendor, de su bisabuelo Luis XIV, el Rey Sol. Lavoisier murió pocos meses después que Luis XVI, hijo y heredero de Luis XV, de la misma forma y en el mismo lugar: ambos fueron guillotinados en la Plaza de la Revolución. Sus logros, sin embargo, fueron muy diferentes: mientras que las indecisiones del monarca y las frivolidades de la reina dieron al traste con la monarquía francesa, el trabajo y el genio de Lavoisier propiciaron la desaparición de la alquimia y el nacimiento de una nueva ciencia, la química.

Orgullosos miembros del Tercer Estado, los Lavoisier y los Punctis habían prosperado considerablemente desde sus modestos orígenes campesinos gracias al celo en su trabajo como abogados y procuradores, por lo que no imaginaban una profesión mejor para Antoine Lavoisier, heredero de ambas familias. Pero la

ciencia que le enseñaron sus profesores del Collège Mazarin, deslumbró a Antoine hasta el extremo de que este decidiera cambiar su destino. Lacaille, Rouelle, Guettard y el resto del claustro de profesores —muchos de ellos miembros de la prestigiosa Academia de Ciencias de Francia— mimaron a ese callado y disciplinado alumno que no tenía rival en ninguna materia. La ambición de aquel joven respecto a lo que podía hacer en la vida y lo que podía obtener de esta tampoco tenía rival: no se conformaba con menos que la gloria reservada a los grandes hombres, y estaba convencido de poder conseguirla únicamente con su esfuerzo. Fascinado por los experimentos químicos de Rouelle, Antoine soñó con convertir la química —que entonces era poco más que un conjunto de supersticiones heredadas de la alquimia— en una ciencia tan precisa como las matemáticas que le había enseñado Lacaille.

Pero antes de seguir lo que desde el principio fue una vocación muy marcada, Lavoisier tuvo que hacerse abogado. En la Escuela de Leyes de París aprendió la importancia de las palabras y la forma de ponerlas a su servicio, lo que habría de resultarle de extraordinaria utilidad en la ciencia que desarrolló más adelante. Antoine estudiaba leyes en primavera, otoño e invierno, y durante las vacaciones de verano recorría Francia con Guettard a la búsqueda de minerales. Pero el joven iba más allá de su maestro y no cesaba de preguntarse sobre las propiedades de esos minerales; por ejemplo, por qué el yeso de París pasaba fácilmente de ser moldeable a ser rígido. Los resultados de esas indagaciones lo llevaron por primera vez a la Academia de Ciencias. Fue el inicio de una relación indisoluble, que solo terminó con su fin casi simultáneo (la institución fue cerrada en 1793 y Lavoisier fue ejecutado al año siguiente).

Poco después, Antoine se embarcó en otros proyectos de envergadura: planificar la iluminación de una gran ciudad y abastecerla de agua. En ambos casos realizó un trabajo exhaustivo y riguroso; no hubo sacrificio que dejara de hacer para que su proyecto fuera excelente: vivir a oscuras, no dormir apenas, no comer, trabajar sin descanso. El mismo rey le concedió una medalla en reconocimiento de sus desvelos. A continuación realizó la primera acción de acoso y derribo de la alquimia: se embarcó en

un experimento para confirmar o descartar la transmutación del agua en tierra y viceversa. Sus conclusiones fueron inapelables: esa transmutación no ocurría.

Por esa época su familia empezó a pensar que la abogacía quizá no fuera la profesión más adecuada para él. Pero Antoine no colgó la toga hasta que no tuvo un mejor medio de vida: un puesto en la malhadada Ferme Générale, la institución encargada de recaudar los impuestos para el Estado. Allí Antoine encontró a su futuro suegro, pero también mucho trabajo, mucho dinero y, a la postre, una condena a muerte.

Por la misma época tuvo lugar su triunfal ingreso en la Academia de Ciencias, institución que a partir de entonces fue adquiriendo su impronta. En uno de sus primeros experimentos como miembro de la misma —quizá el más espectacular de todos los que allí realizó— hizo desaparecer unos diamantes. Poco después, inspirado por los trabajos desarrollados por el vehemente pastor disidente inglés Joseph Priestley, llevó a cabo el experimento más célebre de la historia de la química: la formación y descomposición de la cal roja de mercurio. El producto de tal proeza fue la obtención del más famoso de los «aires», que él bautizó como «oxígeno», lo que le granjeó la ira de Priestley y de gran parte de la ciencia inglesa.

«Aire común», «aire inflamable», «aire fijo»..., los ingleses eran los maestros de los «aires», los que mejor sabían atraparlos y medirlos. Siguiendo sus enseñanzas y mejorando sus aparatos, Lavoisier midió y pesó todos los «aires». El más importante, sin duda, era el «aire vital», imprescindible tanto para el fuego como para la vida. A pesar de las críticas, su nuevo nombre, «oxígeno», fue aceptado por todos. Con su ayuda, Lavoisier desmontó la teoría del «flogisto», en la que los científicos se habían apoyado durante más de cincuenta años. Su esposa, Marie Paulze, tuvo un papel crucial como traductora de textos y como intérprete en su correspondencia con los científicos ingleses.

Por esa época la pareja vivía en el Arsenal, donde Antoine llegaría a tener el laboratorio de química mejor dotado de Europa. Marie era la anfitriona perfecta, que deslumbraba a sus huéspedes tanto por su hospitalidad y elegancia como por su dominio del

inglés y sus conocimientos de química. El matrimonio recorrió Francia supervisando la fabricación de la pólvora y buscando nuevas fuentes de salitre. Así, el ejército francés dejó de ser vulnerable a causa de su munición, las arcas del Estado empezaron a llenarse con la venta de una pólvora de excelente calidad y las colonias americanas derrotaron al antaño todopoderoso ejército británico que tantas humillaciones había causado a Francia.

En el período 1787-1789 Lavoisier publicó sus grandes obras. La racionalidad de la *Enciclopedia Francesa* requería poner orden en el marasmo de nombres de los compuestos y elementos químicos, y cuatro químicos franceses, incluyendo a Lavoisier, inventaron el sistema que aún sigue en vigor hoy en día. El *Método de nomenclatura química* fue editado en 1787 y dos años después, cuando tenía lugar la toma de la Bastilla, Lavoisier publicó su obra cumbre, el *Tratado elemental de química*, la primera obra en la que se aplicó el método científico al estudio de la química. El *Tratado* incluye la ley de conservación de la masa (nada se crea ni se destruye) y los símbolos que representaban las reacciones químicas de forma similar a una igualdad matemática. En esta obra se dio además la definición de elemento químico que hoy conocemos, desterrando definitivamente la teoría de los cuatro elementos de Aristóteles, así como descripciones de los 33 elementos entonces conocidos, aunque con algunos errores garrafales, tales como incluir entre ellos la luz y el «calórico». El *Tratado* incluye trece láminas con preciosos grabados realizados por Marie y firmados como *Paulze Lavoisier Sculpsit*, que ofrecen esquemas detallados de los aparatos empleados por Antoine para realizar sus experimentos.

Una vez que entendió las transformaciones de la materia y las encerró en ecuaciones, Lavoisier se dedicó a estudiar los flujos de calor. Aunque estaba equivocado al dotar de masa al «calórico», midió correctamente junto a Laplace el calor emitido por un ser vivo. Luego Antoine midió el oxígeno consumido y el «aire fijo» (dióxido de carbono) exhalado en la respiración, llegando a la conclusión de que este proceso no era más que una combustión lenta, ya que consumía oxígeno y producía «aire fijo» y calor al igual que en la combustión. A la luz de esos descubrimientos ex-

plicó que la idea de los antiguos de «la llama de la vida» podía no ser solo una reflexión poética, sino el indicio de profundos conocimientos.

Medir, pesar, contar... Hacían falta balanzas, gasómetros, varas de medir, pero también unidades de medida homogéneas. *Metro*, *litro*, *gramo*, Lavoisier dotó a Francia de un sistema universal de pesas y medidas, común para los científicos, pero también para los comerciantes, los ganaderos y los agricultores del mundo entero. Su ambición y capacidad de reforma no tuvo límites.

Al tiempo que hacía todos estos experimentos, Lavoisier reformaba la estructura de la Ferme Générale, llevaba a cabo un ambicioso proyecto agrícola en su granja de Fréchines y elaboraba cientos de informes para la Academia de Ciencias. Y, además, todo lo hacía bien, desde analizar la trayectoria de los globos aerostáticos de los hermanos Montgolfier y proponer mejoras en su diseño, hasta desenmascarar charlatanes como el doctor Mesmer y su «magnetismo animal». Era un crítico inflexible, pero un informe negativo sobre los trabajos de Marat sobre el fluido ígneo habría de pasarle una trágica factura años después.

Si en sus investigaciones científicas Lavoisier buscaba la precisión en la medida y la exactitud en el cálculo, en sus trabajos al servicio de la nación buscaba el bien común y la protección de los débiles. Fueron demoledores sus informes sobre las prisiones y los hospitales de París. Pero su proyecto más ambicioso fue su monumental informe sobre la riqueza territorial de Francia: a su extraordinaria capacidad para acumular y procesar datos, se unió su habilidad para redactarlos y presentarlos de forma amena y concisa. Sus propuestas más revolucionarias surgieron en los campos de la educación y la ciencia. La primera había de ser laica, sin discriminación de sexo e incluir dos niveles, uno que llevara a la universidad, y otro que desembocara en una formación profesional, categoría esta última que nadie había propuesto antes. Estaba convencido de que ambos niveles eran la base del progreso de un país, por lo que hizo un vibrante llamamiento a la Convención para que no se descuidase ninguno.

Mientras Lavoisier se ocupaba de esas tareas, los súbditos franceses se rebelaron primero contra los impuestos, después

contra el monarca y, por último, contra las personas que habían recaudado los impuestos para el rey. Y así, el 8 de mayo de 1794, el Estado francés, ya constituido en República, ajustició al más brillante de sus conciudadanos, con la complicidad o el silencio de todos los demás, con la única excepción de Marie-Anne Pierrette Paulze, su esposa.

En los casi cincuenta y dos años que habían transcurrido desde su nacimiento, con una ambición tan grande como su curiosidad, con un compromiso con la verdad tan inflexible como su intransigencia con la superchería, el ciudadano Lavoisier sentó las bases de la química. De esta forma Lavoisier entró en la ciencia por la puerta grande e hizo entrar con él a la República que lo había decapitado.

1743 Nace en París, el 26 de agosto, Antoine-Laurent Lavoisier.

1748 Muere su madre.

1754 Comienza sus estudios en el Collège Mazarin.

1761 Entra en la Escuela de Leyes.

1763 Se gradúa y realiza el primer viaje con el naturalista Jean-Étienne Guettard.

1765 Presenta su trabajo sobre el yeso en la Academia de Ciencias.

1766 Realiza el proyecto de iluminación urbana. Presenta su primera candidatura a la Academia. Hereda una fortuna de su abuela.

1767 Presenta su segunda candidatura a la Academia. Realiza el proyecto de abastecimiento de agua a una gran ciudad.

1768 Es designado miembro de la Academia. Compra una participación en la Ferme Générale.

1769 Realiza el experimento del pelícano.

1771 Se casa con Marie-Anne Pierrette Paulze.

1772 Realiza el experimento de los diamantes.

1774 Publica *Opúsculos físicos y químicos.*

1775 Es designado Comisario de la Pólvora. Establece su laboratorio en el Arsenal.

1777 Realiza el experimento de la formación y descomposición de la cal roja de mercurio.

1778 Compra una finca en Fréchines.

1779 Idea la palabra «oxígeno».

1780 Realiza el informe sobre las prisiones.

1782 Realiza los experimentos sobre la respiración junto con Laplace.

1784 Publica *Reflexiones sobre el flogisto.* Lleva a cabo la descomposición del agua.

1785 Es nombrado director de la Academia. Realiza el informe sobre los hospitales.

1787 Publica *Método de nomenclatura química.*

1789 Publica *Tratado elemental de química.*

1790 Publica *Riqueza territorial del Reino de Francia.* Trabaja en la Comisión de Pesas y Medidas.

1793 La Academia es cerrada en agosto; Lavoisier es detenido en noviembre.

1794 Muere guillotinado el 8 de mayo.

1805 Marie Lavoisier publica sus *Memorias de química.*

CAPÍTULO 1

Un científico entre abogados

Cuando Lavoisier nació en París en 1743 su destino estaba escrito: sería abogado, como su padre y sus abuelos. Pero tras descubrir la ciencia con ayuda de sus profesores del Collège Mazarin, ya nunca dejó de medir e intentar entender el mundo material que lo rodeaba. La herencia de su abuela le dio un puesto en la sociedad financiera Ferme Générale, y su afición a la química, otro en la Academia de Ciencias. Pero antes de dedicarse a estudiar la química tuvo que despojarla de la maraña de supersticiones en la que la tenía presa la alquimia.

Cuando el 26 de agosto de 1743 nació el primer hijo de Jean-Antoine Lavoisier y Émilie Punctis dos tradiciones marcaban su futuro. La primera, seguida por la familia de su padre durante más de doscientos años, decía que uno de sus nombres tenía que ser Antoine. La segunda, que aún no era centenaria, pero que ya estaba presente tanto en la rama paterna como en la materna, decía que debía dedicarse a las leyes. Aunque sus antepasados eran campesinos oriundos de Villers-Cotterêts, localidad situada a unos 80 km al norte de París, los Lavoisier habían hecho su fortuna trabajando al servicio de la ley en la capital de Francia. Y esta fortuna no era escasa, pues les permitía tener una casa en la margen derecha del Sena, la zona más rica de la ciudad. Los Punctis, por su parte, habían encontrado su prosperidad realizando en provincias un trabajo similar. Por ello, nada en el entorno familiar del recién nacido presagiaba su dedicación a la ciencia.

Jean-Antoine Lavoisier trabajaba como procurador en el Parlamento de París, institución que en aquellos momentos —y a pesar de su nombre— no era una cámara de representantes, sino el Tribunal General de Francia. No obstante, en la época en la que nació Antoine, al no haberse reunido los Estados Generales en más de un siglo, el Parlamento era la única institución que tenía una cierta capacidad para emitir opiniones sobre las decisiones del monarca y su cámara de gobierno.

Dos años después del nacimiento de Antoine vino al mundo su hermana Marie-Émilie. Pero la familia pronto se vio golpeada por la tragedia, puesto que la madre murió cuando su hijo mayor tenía cinco años. El vacío dejado por Émilie Punctis fue llenado por Constance, su hermana pequeña, que renunció al matrimonio para dedicarse por entero al cuidado de sus sobrinos. La familia se trasladó entonces a la casa de su abuela materna, que había enviudado poco antes de morir su hija. La muerte de su hermana a los quince años de edad constituyó un nuevo golpe, cuya consecuencia inmediata fue que su padre y su tía se consagraron a él en exclusiva. Aunque era bastante joven, el padre de Antoine no se

AL BORDE DEL SENA

Los escenarios más importantes en la vida de Lavoisier se hallan en la margen derecha del Sena, muy cerca de la catedral de Notre-Dame. En este mapa se incluyen los principales:

1 Rue Pecquay, donde nació en 1743 y vivió hasta 1748, año en el que murió su madre.

2 Iglesia de Sainte Marie, donde fue bautizado.

3 Rue de Four-Saint Eustache, donde se hallaba la casa de su abuela, que fue su hogar desde 1748.

4 Collège Mazarin (actual Instituto de Francia), donde estudió.

5 Jardin du Roi (hoy Jardin des Plantes), donde Rouelle impartía sus clases prácticas de química.

6 Laboratorio de Rouelle, donde Lavoisier estudió química y mineralogía.

7 Rue Neuve des Bons-Enfants, adonde se trasladó tras casarse en 1771.

8 Academia de Ciencias (hoy Museo del Louvre), de la que sería miembro desde 1768 y director desde 1785.

9 Arsenal, donde estuvo su laboratorio entre 1775 y 1792.

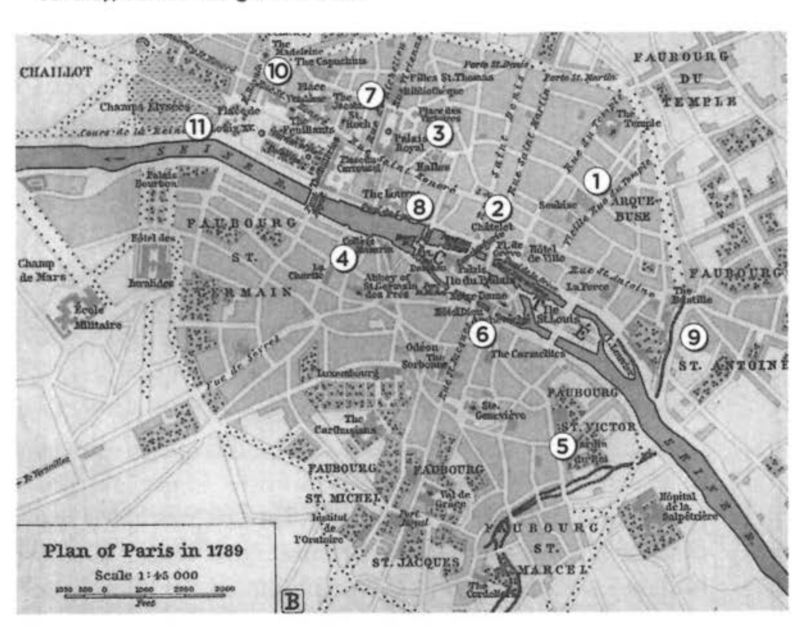
volvió a casar, y padre e hijo mantuvieron una relación afectuosa toda su vida.

EL COLLÈGE MAZARIN

Antoine realizó en casa sus primeros estudios, dirigidos por diferentes tutores, pero cuando cumplió once años su padre lo matriculó en el que entonces era el mejor colegio de París, el Colegio de las Cuatro Naciones, conocido como Collège Mazarin por haber

10 Rue de la Madeleine, donde residió tras dejar el Arsenal.

11 Plaza de la Revolución (antigua Plaza Luis XV y actual Plaza de la Concordia), donde fue guillotinado.



sido fundado por este cardenal. El centro estaba situado al otro lado del río y allí Antoine tuvo como compañeros a los hijos de las clases más acomodadas del país.

El colegio contaba entre sus profesores a las mentes más brillantes de Francia y en él se impartían tanto las materias del currículo clásico —historia, literatura, composición y matemáticas— como las más novedosas, que entonces se calificaban como «filosofía natural». Aunque Antoine pronto destacó en todas las disciplinas, eran estas últimas las que le interesaron especialmente: la astronomía, enseñada por el abad Nicolas Louis de Lacaille, que había instalado un pequeño observatorio en el colegio y era también su profesor de Matemáticas; la mineralogía y la geología, impartidas por Jean-Étienne Guettard, con quien en el futuro viajaría por Francia a la búsqueda de minerales; la botánica, materia en la que Bernard de Jussieu instruía a sus pupilos en la clasificación de Linneo, y muy especialmente la química, que tenía por profesor a Guillaume-François Rouelle. Las demostraciones prácticas del excéntrico, irrepetible y apasionado químico eran tan famosas que hubo que habilitar una sala especial en el Jardin du Roi, donde tenían lugar sus experimentos, para dar cabida a la numerosa audiencia.

Aunque había materias, como la química, que aún no se habían desarrollado lo suficiente como para merecer el calificativo de científicas, el grado de desarrollo de la investigación en Francia cuando Lavoisier comenzó sus estudios en el Collège Mazarin era más que notable. En gran parte ello se debía a las disposiciones tomadas durante el reinado de Luis XIV (1638-1715), que condujeron a la creación de diversas academias. Aunque el objetivo principal de todas ellas era la exaltación de la monarquía, los frutos de estos foros trascendieron con mucho los deseos del rey. La Academia de Ciencias, a causa de los temas de estudio que le eran propios, era relativamente independiente de la corte, lo cual fue determinante para que alcanzara su esplendor. En contraste, los miembros de otras academias, como los dramaturgos Racine y Molière, el fabulista La Fontaine o el filósofo Voltaire, no habrían sobrevivido trabajando a espaldas de la corte, por lo que se veían obligados a vivir entre alabanzas al monarca y pullas a la nobleza y el clero.

Uno de los principales objetivos de la Academia de Ciencias, fundada en 1666 por el ministro Colbert, era ejercer de órgano consultivo del Gobierno, con la obligación de responder a todo tipo de cuestiones técnicas, desde mejorar la calidad de la pólvora hasta diseñar el sistema de abastecimiento de aguas a la capital. Sus miembros debían tener los conocimientos y la brillantez que les permitiera responder a tales cuestiones. Al ser la Academia una institución de origen real, formar parte de ella era un objetivo codiciado por muchas personalidades; sin embargo, el factor determinante para lograr el estatus de miembro no era la nobleza de sangre, sino la inteligencia y el celo en la dedicación a la ciencia.

> «[La Academia de Ciencias] anima y protege el espíritu de la investigación, y contribuye al progreso de las ciencias y de sus aplicaciones. Vela por la calidad de la enseñanza y obra para que los avances del desarrollo científico sean integrados en la cultura de los hombres de nuestro tiempo.»
>
> — Artículo 2 del Estatuto de la Academia de Ciencias de Francia.

Estas circunstancias hicieron posible que una sociedad extraordinariamente clasista, como era la francesa de mediados del siglo XVIII, otorgara los laureles de la gloria a sus científicos más brillantes, aunque fueran de origen plebeyo. Este era el caso de muchos de los profesores de Antoine en el Collège Mazarin. Sus maestros le deslumbraron con sus conocimientos, le hicieron disfrutar con el estudio y le enseñaron la importancia del método científico y la forma de aplicarlo. Pero sobre todo le inculcaron que la forma en la que las personas como ellos podían servir mejor a sus país era dedicando su vida a la ciencia.

LOS ESTUDIOS DE LEYES

Al terminar sus estudios en el Collège Mazarin, Antoine contaba con unas armas nada despreciables para desarrollar una carrera

científica. Para empezar tenía fe ciega en la ciencia como uno de los más bellos productos de la mente humana, y también tenía infinita curiosidad por entender fenómenos que hasta entonces parecían incomprensibles. Por otro lado, era brillante, tenía una capacidad de trabajo y organización excepcionales y disponía de una intuición extraordinaria para percibir la relevancia de un descubrimiento o las inconsistencias de una teoría. Por ultimo, a pesar de no ser noble, era el único heredero de una fortuna familiar considerable; y para ocuparse de las cuestiones de intendencia contaba con la ayuda de su padre y su tía, cuyo cariño y devoción por él eran incondicionales. Pero, por encima de todo eso, Antoine tenía ambición, aunque no de bienes materiales, sino de pasar a la posteridad.

Sin embargo, y a pesar de tener vocación, fortuna y ambición, antes de embarcarse en una carrera científica el joven tuvo que encontrar la forma de asegurarse el porvenir. Era heredero de hombres de leyes con los pies firmemente asentados sobre el suelo, para los cuales la ciencia no era más que un pasatiempo de ricos. Por ello Antoine tuvo que estudiar leyes durante tres años en la Escuela de París. Durante ese tiempo no solo adquirió destreza para desempeñar el oficio de litigante, sino que a su incipiente formación científica añadió el conocimiento de los clásicos latinos y el derecho romano.

No obstante, durante los años que estuvo dedicado al estudio de las leyes no se olvidó de la ciencia, y siguió asistiendo a los cursos y conferencias impartidos por sus antiguos profesores del Collège Mazarin, con los que mantenía muy buenas relaciones. Su trato era particularmente asiduo con Jean-Étienne Guettard, quien lo invitaba a menudo a recorrer los alrededores de la ciudad para estudiar los minerales y la geología del entorno. Como no quería descuidar sus estudios de leyes, por esa época decidió organizar su tiempo para aprovecharlo del mejor modo posible, limitando su vida social al mínimo. Poco después decidió que las comidas familiares le ocupaban demasiado, por lo que durante unos meses estuvo a una dieta de leche, que ingería en su dormitorio, sin dejar de trabajar. Abandonó esa dieta cuando su salud empezó a resentirse, pero no cambió de idea respecto a que las relaciones sociales eran una pérdida de tiempo.

Fue en esa época cuando llegó a sus manos un barómetro con el que comenzó a hacer varias medidas diarias de la presión atmosférica. Posteriormente completó esa información con mediciones de la temperatura, la velocidad y la dirección del viento; luego amplió sus datos pidiendo a conocidos que vivían fuera de París que los anotaran y se los enviaran periódicamente. Cuando él se ausentaba de la capital encargaba a alguien, normalmente su tía Constante, incapaz de negarle nada, que hiciera las medidas y las anotara. Aunque no llegó a obtener conclusiones, mantuvo la costumbre de medir y anotar las variables atmosféricas toda su vida. Anticipó que su conocimiento podía servir para predecir el tiempo, lo que sería especialmente útil a los navegantes.

Tras finalizar sus estudios de leyes en 1763, completó su formación trabajando en el bufete de su padre durante un año, tras lo cual ingresó en el colegio de procuradores y comenzó a ejercer como tal. Pero no se dedicó a ese menester durante mucho tiempo. Para todos, incluido su padre, empezaba a ser evidente que el corazón de Antoine no estaba en los tribunales de justicia. Hacía falta muy poco para que Antoine colgara la toga. El último empujón se lo dio un amigo de la familia.

VIAJES CON GUETTARD

En el verano de 1763 el geólogo Jean-Étienne Guettard, que era amigo de la familia Lavoisier, solicitó la colaboración de su antiguo alumno como asistente en su proyecto de elaboración del mapa geológico de Francia. Este proyecto incluiría una descripción de la topografía del país y de sus riquezas minerales. Comenzaba la época de las vacaciones y Antoine no encontró mejor forma de aprovecharlas que acompañando a Guettard. Así, a punto de cumplir los veinte años, Antoine comenzó a recorrer con Guettard las regiones del norte de Francia, tomando muestras de los minerales y la tierra de cada zona y midiendo otras magnitudes, como la presión atmosférica, la temperatura y la pluviometría. Lavoisier se dedicó de forma absorbente a esta tarea durante varios meses al

año hasta 1767. El plan era muy ambicioso y no se completó hasta mucho tiempo después, siendo finalmente su autor oficial Antoine Monnet, que continuó el trabajo de Guettard cuando este se retiró. Cuando el *Atlas* se publicó en 1780 Monnet agradeció de forma somera la labor realizada por Guettard, impulsor de la idea y planificador general de la obra, pero olvidó la aportación de Lavoisier.

En cualquier caso, para Lavoisier, la elaboración del mapa geológico resultó ser un auténtico viaje iniciático. Con Guettard aprendió la rutina del trabajo de campo, la importancia de la sistemática en la recogida de datos, la elaboración de tablas, la organización de la información, la redacción de memorias y resúmenes. Antoine también revivió entonces la fascinación que había sentido por las sustancias químicas durante las demostraciones de Rouelle. En los viajes por Francia se familiarizó con las propiedades de las sustancias que formaban los minerales, lo que según alguno de sus biógrafos hizo que su carrera científica se dedicara a la química y no a la física, aunque el joven aplicó al estudio de los distintos cuerpos materiales una sistemática y un rigor que entonces no eran patrimonio de la química, sino que eran más propios de las matemáticas y la física. Tras este aprendizaje, durante el resto de su carrera científica nunca intentó sacar conclusiones que no estuvieran fundamentadas en datos minuciosamente registrados y comprobados por personas de su entera confianza, preferentemente por él mismo. Tampoco aceptó teorías ajenas que no hubiera podido comprobar por medio de experimentos.

Desde el principio lo fascinó la belleza de los cristales, pero no se limitó a apreciar su aspecto externo, sino que intentó averiguar la influencia que este podía tener en sus propiedades. El yeso de París, uno de los minerales que estudió, atrajo su atención de forma especial. Aunque por la facilidad con la que se moldeaba era un material usado en decoración ya en el antiguo Egipto, en el siglo XVIII era profusamente empleado en París para enlucir las paredes de los edificios. Los motivos para ello eran múltiples. De entrada, era un material muy apropiado para embellecer edificios, ya que la ciudad contaba con los grandes yacimientos de Montmartre. Pero lo que lo hacía singularmente atractivo era su carácter ignífugo. El pavoroso incendio que había arrasado

EL YESO DE PARÍS


Selenita, variedad de yeso formada por cristales transparentes.

La primera memoria que envió Lavoisier a la Academia de Ciencias trataba sobre el yeso de París, o escayola. Lo que le atrajo de este material eran las curiosas formas de sus cristales, que forman «maclas» (asociaciones simétricas de cristales gemelos), y el hecho de que podía transformarse en compuestos con propiedades distintas simplemente por calentamiento, unos cambios que podían hacerse reversibles mojándolo. Sería otro francés, Henry Le Châtelier (1850-1936), quien más de un siglo después descubrió que el compuesto químico base del yeso y la escayola era el sulfato de calcio ($CaSO_4$), el cual, dependiendo del número de moléculas de agua de hidratación que se desprenden de la red cristalina al calentar la sustancia, presentaba diferentes propiedades, cambiando drásticamente su dureza. Así, cuando se tienen dos moles de agua por mol de sulfato de calcio se da lugar al yeso, una de las sustancias más blandas conocidas, que además es fácilmente moldeable tras humedecerlo; cuando se tiene medio mol de agua por mol de sulfato de calcio se da lugar al yeso de París, y cuando se elimina esa pequeña cantidad de agua, se forma la anhidrita. Las reacciones químicas que describen las transformaciones de unos compuestos en otros usando una terminología muy parecida a la propuesta en su día por Lavoisier son las siguientes:

$$CaSO_4 \cdot 2H_2O \text{ (yeso)} + \text{calor} \rightleftarrows CaSO_4 \cdot \tfrac{1}{2}H_2O \text{ (escayola)} + 1\tfrac{1}{2}H_2O \text{ (vapor de agua).}$$

$$CaSO_4 \cdot \tfrac{1}{2}H_2O + \text{calor} \rightleftarrows CaSO_4 \text{ (anhidrita)} + \tfrac{1}{2}H_2O \text{ (vapor de agua).}$$

Londres en 1666 había puesto de manifiesto la fragilidad de las ciudades cuyas casas estaban construidas con madera, por lo que a raíz del mismo en Francia se hizo pública una directriz real que obligaba a recubrir los edificios con yeso con el fin de protegerlos del fuego.

Lavoisier quería conocer la relación exacta entre diversas sustancias que debían tener una composición muy parecida y que se transformaban unas en otras. Quería entender lo que hoy se conoce como «fraguado», el proceso mediante el cual una pasta blanca y moldeable se transforma en un sólido rígido, aunque ligero y fácil de romper. Con los resultados de este estudio Lavoisier elaboró un trabajo que presentó en 1765 a la Academia de Ciencias. Fue el comienzo de una relación muy fructífera para el científico, pero también para la institución.

UNA MEDALLA DEL REY

Mientras trabajaba en el estudio del yeso que debía presentar ante la Academia de Ciencias, esta convocó un concurso sobre el mejor modo de iluminar una gran urbe, otorgando un premio de 2000 libras. Años después sería el abastecimiento de agua de la ciudad lo que atraería su atención. Para realizar ambos proyectos Lavoisier puso en juego su capacidad de planificación y organización, unas habilidades que podríamos encuadrar en el campo de la ingeniería. Aunque el objetivo de dichos proyectos era la resolución de problemas técnicos, Lavoisier no dejó de pensar en los fenómenos de la naturaleza relacionados con ellos: la combustión en el proyecto de la iluminación y la naturaleza del agua en el proyecto de abastecimiento. Finalmente, las propuestas que realizó Lavoisier para iluminar las calles de una gran ciudad y abastecer de agua a sus ciudadanos no se llevaron a la práctica. Sin embargo, los conocimientos que adquirió entonces sentaron las bases para convertir la química en una ciencia.

Lavoisier acometió el proyecto de iluminación con la pasión y el rigor que habrían de caracterizar todos sus estudios posteriores. Comenzó por examinar las formas de iluminación de la época: las lámparas de aceite y las velas. Estudió el efecto de la forma y el material empleado, comprobando en cada caso la mejor relación coste/beneficio y la calidad de la iluminación. Para determinar esta última de forma precisa se encerró en una habitación com-

LA ACADEMIA DE CIENCIAS DE FRANCIA

La Academia de Ciencias fue fundada por Jean-Baptiste Colbert, ministro de Luis XIV, en 1666 a imagen de las sociedades científicas —especialmente la Royal Society de Londres— que se habían constituido en otros países europeos. Su objetivo era favorecer el progreso y el avance de la ciencia y actuar como órgano consultivo del Gobierno. Pero como toda institución creada durante el reinado del Rey Sol su fin último era la exaltación de la monarquía. Lo peculiar de los conocimientos que cultivaba la mantuvo relativamente al margen de los cabildeos de la corte, y en poco tiempo se convirtió en una de las instituciones científicas más prestigiosas de Europa. En 1699 Luis XIV le dio su primer reglamento, según el cual los académicos eran nombrados por el rey a propuesta de la Academia, y también le cedió su primera sede oficial, en el Louvre. La Academia constaba de 12 miembros honorarios elegidos entre los nobles, 18 pensionados, 12 asociados y 12 adjuntos, de mayor a menor rango, repartidos proporcionalmente entre los campos de geometría, astronomía, mecánica, anatomía, química y botánica. Esa era la Academia a la que accedió Lavoisier en 1766 con solo veinticinco años, integrándose en el rango inferior, el de los adjuntos. Aparte de asistir a las sesiones semanales de los miércoles y los sábados de tres a cinco, su excelente disposición para el trabajo y su amplio rango de conocimientos hicieron que desde el principio formara parte de numerosos comités, en los que elaboró multitud de informes. De este modo, una gran parte de su vida científica tuvo como foro la Academia, y él fue una parte vital de la misma hasta que el 8 de agosto de 1793 la Convención suprimió todas las academias. La Constitución de 1795 creó el Instituto de Francia, con sede en el antiguo Collège Mazarin, que reagrupó a todas las academias.



Luis XIV visitando la Academia de Ciencias en 1671, según un grabado de Sébastien Leclerc.

pletamente a oscuras durante seis semanas, con el fin de que sus ojos fueran más sensibles a las pequeñas diferencias en la intensidad de la luz. Aunque los resultados de su estudio, tan original como riguroso, fueron extraordinarios, no merecieron el premio, dado que se consideró que era un honor excesivo para una persona tan joven. El concurso fue ganado finalmente por la empresa que habría de iluminar París. Sin embargo, el trabajo de Lavoisier no quedó sin recompensa, ya que el rey Luis XV le concedió una medalla de oro que le fue entregada en un acto solemne por el presidente de la Academia de Ciencias en abril de 1766, poco antes de que Antoine cumpliera veintitrés años.

Su creciente afición por la ciencia y el reconocimiento público a su trabajo que supuso la concesión de la medalla, lo animaron a presentar su candidatura a la Academia de Ciencias. Esta fue desestimada, pero era evidente que su ingreso era cuestión de tiempo. De hecho, tan solo tuvo que esperar dos años para cumplir su sueño de ser miembro de la institución científica más prestigiosa de Francia.

Tras recibir la medalla, Antoine retomó los trabajos geológicos con Guettard, cuyo proyecto ya contaba con el apoyo oficial del Gobierno. Durante los viajes realizados por el norte y el este de Francia, Lavoisier no solo trabajó recopilando datos, sino que disfrutó admirando los paisajes y los monumentos de las ciudades que visitaba, dando cuenta a su padre y a su tía de todas sus observaciones. También tuvo un contacto directo con ciudadanos e instituciones de toda índole. No obstante, lo más importante fue que en estos viajes encontró su auténtica vocación.

DE LA ALQUIMIA A LA QUÍMICA

¿Qué era la química cuando Lavoisier se interesó por ella? Según la había definido poco antes uno de los químicos más afamados de la época, el alemán Georg Ernst Stahl (1659-1734), química era «el arte de disolver los cuerpos mixtos por varios medios». La química aún no tenía la categoría de ciencia, sino la de *arte*. Por otra parte,

su objeto de estudio tampoco estaba claro, pues los cuerpos mixtos o compuestos —que hoy podríamos definir como sustancias formadas por elementos— no se entendían entonces tal y como los entendemos hoy. En aquellos momentos el concepto de elemento estaba directamente relacionado con la definición dada por los griegos Empédocles (siglo v a.C.) y Aristóteles (siglo iv a.C.). Según estos filósofos, la materia estaba formada por cuatro elementos: fuego, tierra, aire y agua. Los antiguos chinos proponían una clasificación similar, que compartía con la filosofía griega los elementos de fuego, agua y tierra, aunque se sustituía el aire por el metal y la madera. Tanto para los griegos como para los chinos todas las sustancias materiales estaban formadas por proporciones variables de los cuatro o cinco elementos fundamentales.

No solo era la categoría o el objeto de estudio de la química lo que no estaba definido. El propio nombre se hallaba aún en discusión, pues la química todavía arrastraba el lastre de la alquimia, de la que era heredera a la vez que rehén. Curiosamente, el vocablo «alquimia» procede del árabe *al-kimiya*, que a su vez viene del griego κυμεια, *quimia*, que significa «mezcla de jugos».

Un siglo antes de Lavoisier y gracias al impulso racionalista de Isaac Newton (1642-1727), los investigadores que se interesaban por la química intentaron separarse de la alquimia, con la que compartían aparatos y procedimientos. Probablemente, ignoraran que el propio Newton fue un alquimista entusiasta, que en su época de máximo esplendor pasaba más tiempo entre los hornos de su laboratorio que redactando sus *Principia mathematica* que habrían de cambiar la percepción del mundo. Su amigo Robert Boyle (1627-1691) compartía con Newton la pasión por la alquimia, y como tal era heredero del alquimista italiano Bernardo de Treviso (1406-1490) y gran admirador del médico suizo Paracelso (1493-1541). En la época en la que Boyle y Newton intercambiaban cartas llenas de descripciones crípticas sobre arcanos y procesos, la alquimia era un sistema filosófico que buscaba obtener la vida eterna con el elixir de la vida y la riqueza con la piedra filosofal, que convertiría todas las sustancias en oro.

Pero no todos los alquimistas buscaban algo tan prosaico como la riqueza material o la vida eterna. Newton, por ejemplo,

aspiraba a descifrar los misterios de la naturaleza como forma de acercarse a Dios. En contraste, el descreído Paracelso buscaba las herramientas para la curación de sus semejantes, y Robert Boyle, un noble estrafalario y adinerado, probablemente buscaba pasar el rato. Aunque Boyle afirmara que Paracelso fue el primero en abordar el conocimiento de la materia de una forma racional, dejando atrás las filosofías trasnochadas de los cuatro humores (los líquidos —sangre, bilis amarilla, bilis negra y flema— de cuyo equilibrio dependía la salud), su obra *The Skeptical Chymist* («El químico escéptico»), publicada en 1661, se considera el primer tratado de química, *arte* que Lavoisier elevaría al rango de *ciencia*. Además de ser socio fundador de la Royal Society, la sociedad científica más antigua de Europa —fue creada en 1660—, Boyle formuló la ley que estipula que a temperatura constante el producto de la presión por el volumen de una cantidad dada de gas es constante. Esta ley sigue siendo una herramienta imprescindible para los químicos actuales, lo cual no deja de ser curioso, pues en esa época no existía el concepto de gas.

Aunque el científico y alquimista flamenco Jan Baptista van Helmont (1579-1644) había intentado poner orden en el mundo de los fluidos aeriformes con el concepto de *kaos*, vocablo griego del que según algunos derivaba la palabra «gas», la comunidad química de la época no estaba preparada para tamaña revolución lingüística. Pero si bien Boyle y sus herederos siguieron usando el término «aire», dejando el gas en el limbo, otro término acuñado por Van Helmont para definir la inflamabilidad —el *phlogistos*— sí que tuvo éxito. Una modificación de esta palabra, *phlogiston*, fue asociada por Stahl con el principio de la combustión que el erudito y alquimista alemán Johann Joachim Becher (1635-1682) había llamado *terra pinguis*. Con estos mimbres Stahl elaboró la teoría del flogisto, que habría de gozar del favor de químicos tan ilustres como los ingleses Henry Cavendish (1731-1810) y Joseph Priestley (1733-1804).

Para Stahl, la oxidación era una versión lenta de los procesos de combustión (lo cual es cierto), en el transcurso de los cuales las sustancias combustibles perdían una parte del flogisto que supuestamente contenían. Otro proceso análogo era la calcina-

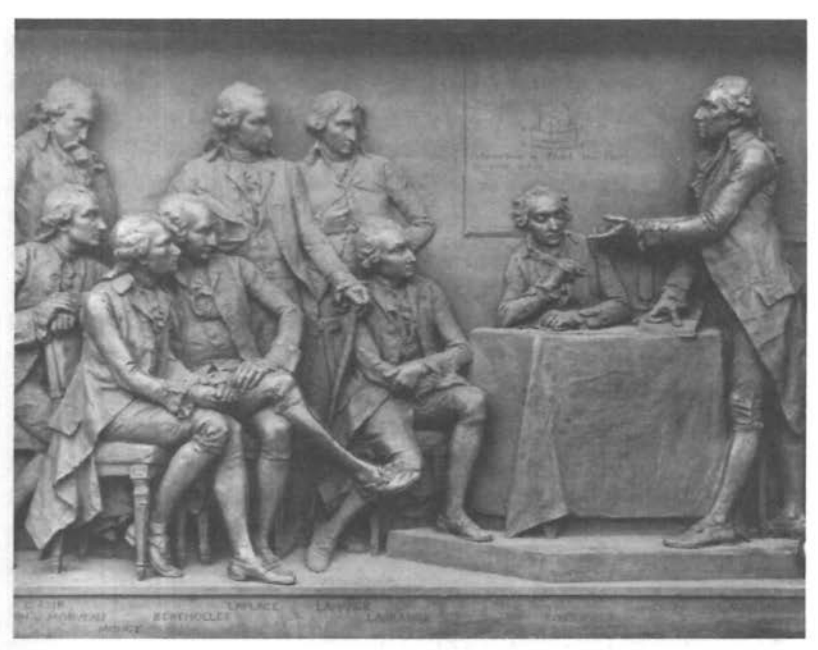


FOTO SUPERIOR:
Lavoisier imparte una conferencia sobre el análisis del agua en este relieve perteneciente al conjunto escultórico dedicado al científico en París, obra de Louis-Ernest Barrias (1841-1905).



FOTO INFERIOR:
Grabado de Gabriel Pérelle dedicado al Collège Mazarin (actual Instituto de Francia), donde Lavoisier cursó sus estudios.

ción, en la cual los metales al ser calentados al aire producían «cales», lo que hoy llamamos óxidos. Estas cales eran similares a las menas de los metales que se extraían de las entrañas de la tierra. El calentamiento de las cales con carbón para obtener metales, proceso empleado desde la Edad del Hierro, implicaba una transferencia de flogisto del carbón a la mena, que al recibirlo se convertía en metal. Según esta hipótesis, cuando el metal se degradaba por calcinación y formaba una cal, perdía su flogisto, que pasaba a la atmósfera. El flogisto era así la *materia* del fuego que daba lugar a la combustibilidad. Se consideraba que los materiales que ardían, tales como la madera, el carbón o el azufre, eran ricos en flogisto. Hoy sabemos que un fuego se apaga en ausencia de oxígeno. Según Stahl, un fuego se apagaba cuando el material había perdido todo su flogisto, saturando el aire que lo rodeaba. Este flogisto, según el científico alemán, era reabsorbido de la atmósfera por las plantas, de forma que la madera adquiría un flogisto que podía volver a perder cuando ardía.

«[El flogisto] es la materia y el principio del fuego, aunque no es fuego en sí mismo.»

— **GEORG ERNST STAHL, *FUNDAMENTA CHYMIAE* (1723).**

El flogisto nunca existió, pero daba una explicación razonable a reacciones muy comunes: la combustión, la oxidación, el crecimiento de las plantas y la reducción de los metales con carbón. Por ello la teoría del flogisto llegó a estar tan imbricada en el cuerpo de conocimientos científicos de la primera mitad del siglo XVIII que el filósofo Immanuel Kant (1724-1804) llegó a compararla con los experimentos de Galileo. Y una vez aceptada como cierta por la comunidad científica, costó mucho librarse de ella. Incluso cuando se pusieron de manifiesto los hechos que contradecían su existencia, la teoría se retorció para seguir sobreviviendo. Así, cuando se observó que las cales, formadas cuando el metal perdía su flogisto, pesaban más que el metal original, se dijo que el flogisto podía tener peso negativo, aunque en otro tipo de procesos podía tenerlo positivo. Volveremos a esta cuestión en el capítulo siguiente.

A Lavoisier le llegó una interpretación particular de la teoría del flogisto a través de su profesor de química Rouelle, entre otras muchas teorías que exigían más fe ciega que capacidad de comprensión. La química de la época se asemejaba más a una religión que a una ciencia, en un marcado contraste con la lógica cartesiana de las matemáticas que Antoine aprendió de Lacaille y la sistemática de la metalurgia que le enseñó Guettard. Aunque química y metalurgia estaban muy emparentadas, la metalurgia —en contraste con la química— se regía por el manual publicado por Georgius Agricola en el siglo XVI, modelo de claridad y concisión. Este manual recogía los conocimientos de los que dependían industrias tan importantes como la minería y el procesado de metales, por lo que forzosamente tenía que estar libre de las retorcidas y farragosas explicaciones que aparecían en los textos alquímicos.

Fascinado por la naturaleza de la materia y sus propiedades, a Lavoisier le resultaba imposible aceptar las afirmaciones que Rouelle presentaba como si fueran dogmas, sin poder comprobarlas y racionalizarlas. Pero con una actitud que mantendría toda la vida, las inconsistencias de la química, en lugar de hacerle desistir de entenderla, fueron un acicate para que la estudiara con más ahínco. Con una osadía propia de personas con poco miedo y pocos años, Lavoisier se propuso poner orden donde no lo había. Y a fe que lo hizo.

LA FERME Y LA ACADEMIA

Otro suceso de gran relevancia en la vida de Lavoisier que tuvo lugar en 1766, el año en el que el rey le concedió la medalla, fue la muerte de su abuela materna, por lo cual el futuro científico heredó una gran fortuna. Tras recibir esta herencia, Antoine tomó una decisión que habría de cambiar el rumbo de su vida y también determinar la fecha de su muerte.

Como era evidente para todos que no deseaba reanudar su trabajo como procurador, su familia, especialmente su padre,

buscó alternativas para procurarle una nueva fuente de ingresos. Aconsejado por él y por otros familiares, Lavoisier decidió que una forma de ganarse el sustento mientras seguía dedicándose a la ciencia era comprar una participación en la Ferme Générale. Esta era una institución cuyos miembros proporcionaban al Estado los fondos necesarios para su funcionamiento, encargándose de recaudar los impuestos para recuperar lo invertido; era a la vez banca y hacienda. Aunque la inversión resultó a la postre muy rentable, formar parte de la sociedad requería un desembolso inicial de gran envergadura. Probablemente, al igual que en todos los proyectos que acometió en su vida, Lavoisier realizó un estudio de la relación coste/beneficio, y debió de llegar a la conclusión de que participar en la institución era un buen negocio.

Pero si lo que Lavoisier pretendía era obtener un beneficio sin dedicarle apenas tiempo, se equivocó completamente, pues desde el momento en el que entró a formar parte de la institución se hizo cargo de numerosas tareas en el seno de la misma, siempre con el fin de mejorar su funcionamiento. Pretendía conseguir tal objetivo de dos formas: por un lado, buscando y persiguiendo el fraude; por otro, supervisando el trabajo de los recaudadores para poder castigar las corruptelas y los abusos. No debió de ser tarea fácil ni que le granjeara muchos amigos, pero en poco tiempo logró resultados espectaculares. Su fama debió de extenderse, y a partir de entonces, cada vez que entró a formar parte de una institución se dedicó con todas sus fuerzas a mejorar su funcionamiento.

En 1767 presentó su candidatura a la Academia de Ciencias por segunda vez, junto con su proyecto para abastecer de agua a una gran ciudad. En 1768 consiguió finalmente el puesto, primero de modo provisional y luego de forma definitiva en calidad de «adjunto», la escala más baja entre los miembros de la institución.

Los asuntos burocrático-administrativos, tanto en la Ferme como en la Academia, no lo distrajeron nunca de su objetivo principal: el desarrollo de bases sólidas que proporcionaran a la química un sustento estable como ciencia. Para ello Lavoisier disponía de una disciplina de trabajo férrea, que cumplía a rajatabla cada día, y aunque siempre cuidó mucho las formas y era muy

UNA DAMITA EN APUROS



Retrato de juventud de Marie-Anne Pierrette, la esposa de Lavoisier.

Uno de los superiores de Lavoisier en la Ferme Générale, Jacques Paulze, tenía una hija, Marie-Anne Pierrette, que había sido educada en un convento al perder a su madre con tres años. La damita tenía una cuantiosa renta y no era fea, por lo que al cumplir trece años tuvo un pretendiente difícil de rechazar, el conde de Amerval. Era de alta cuna y estaba protegido por el sacerdote Joseph Marie Terray, tío de la madre de Marie-Anne y a la sazón ministro de Hacienda y, como tal, jefe de Jacques Paulze. Pero cuando la joven conoció al noble, que entonces tenía cincuenta años y estaba arruinado física y económicamente, se negó rotundamente a convertirse en la condesa de Amerval. Su padre, en un desafío sin precedentes al poder que emanaba de la corte, escribió a Terray: «Mi hija siente por él una aversión decidida y yo no pienso violentarla». Terray amenazó con cesar a Paulze, pero el presidente de la Ferme apoyó a su colega diciendo que su inteligencia, capacidad de trabajo y honradez eran imprescindibles para el buen funcionamiento de la institución. Terray no cesó a Paulze, pero tampoco desistió en sus planes de boda. Viéndose acorralado, Paulze propuso a Lavoisier, uno de sus más brillantes subordinados en la Ferme, que se casara con su hija; no era noble, pero era joven y bien parecido, contaba con una cuantiosa fortuna, y, sobre todo, era del agrado de Marie. Toda la familia Paulze se felicitó por la valiente decisión, pero al mismo tiempo se inquietó por las consecuencias que podría tener tal desacato a la autoridad de la corte. Teniendo en cuenta que sin el dinero de la Ferme el Estado no podía funcionar, Terray reconsideró su posición y, en diciembre de 1771, casó en su capilla privada a Marie Paulze con Antoine Lavoisier; a la celebración acudieron más de doscientas personas, que incluían a lo más granado de la sociedad francesa. Constance Punctis, la tía de Antoine, pronto pasaría a ocuparse de la nueva casa de la pareja, por lo que la recién casada pudo dedicarse a otros menesteres. La joven dama se aprestó a mejorar su latín, a aprender inglés y a tomar lecciones de dibujo. Posteriormente, tomó lecciones de química con Bouquet, colaborador de Lavoisier. Con este bagaje se convirtió en traductora, dibujante y bibliotecaria de su marido, así como en anfitriona de sus veladas científicas y en entusiasta ayudante de su laboratorio.

cordial en su trato con sus colegas científicos, nunca perdió el tiempo en ocupaciones mundanas. Por ello, llegó a los veintiocho años sin novia conocida, a pesar de no ser mal parecido, tener una economía más que saneada y ser agradable en el trato.

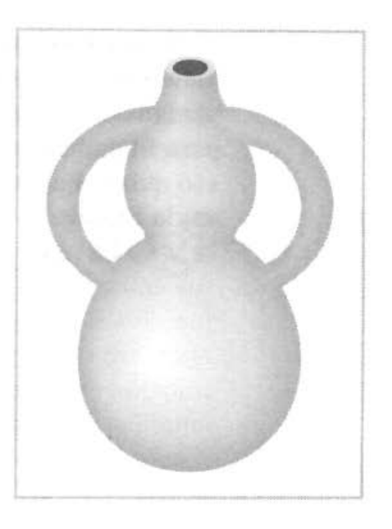
Así es que estaba disponible cuando uno de sus supervisores en la Ferme, Jacques Paulze, necesitó un novio para librar a su hija de un matrimonio que se anticipaba desgraciado. El enlace fue concertado en pocas semanas y la boda tuvo lugar en diciembre de 1771. Resultó ser una decisión muy feliz, porque Lavoisier encontró entonces a una esposa con la que formaría un equipo de trabajo perfecto, y ello a pesar de que la joven novia aún no había cumplido los catorce años cuando se casó.

EL EXPERIMENTO DEL PELÍCANO

Dos años antes de la boda, cuando ya era miembro de la Academia y se había formalizado su participación en la Ferme, Lavoisier acometió su primer gran experimento, utilizando para ello la metodología que habría de seguir el resto de su carrera. Desde que había elaborado el proyecto de abastecimiento de aguas de una gran ciudad, la naturaleza de este «cuerpo» había atraído su atención. De hecho, la ubicuidad y las propiedades singulares del agua ya habían atraído el interés de multitud de científicos.

Como se ha indicado anteriormente, en la filosofía griega, el agua era uno de los cuatro elementos esenciales. Era vital para todos los seres vivos y durante mucho tiempo se creyó que era un cuerpo simple, que no podía ser descompuesto. Van Helmont realizó un experimento en la primera mitad del siglo XVII que le llevó a postular que este elemento primordial podía transformarse en tierra. El científico flamenco plantó un sauce llorón con una cantidad medida de tierra humedecida con agua y cuidó del árbol durante un período de cinco años. El sauce aumentó su masa en 75 kg, mientras que la tierra disminuyó la suya en tan solo 57 g. Van Helmont supuso que el árbol había ganado masa únicamente a través del agua de lluvia, es decir, que el agua se había transmutado en tierra

y de esta había pasado al árbol. Este experimento parecía irrefutable y todo el que tuviera acceso a un pedazo de tierra y unas semillas o un plantón podía reproducirlo.



El pelícano era una vasija utilizada por los alquimistas para lograr una destilación circular, similar a la que tiene lugar en muchos seres vivos. Su nombre procedía de su semejanza con la silueta de un pelícano con las alas abiertas.

Para comprobar la veracidad de la hipótesis de la conversión de agua en tierra, Lavoisier empezó por escoger un sistema mucho más simple, un recipiente que contuviera agua. Luego procedió a controlar rigurosamente las condiciones de su experimento: pesó el recipiente sin y con agua y lo cerró herméticamente. A continuación se propuso estudiar si por efecto del calor tenía lugar la transmutación alegada por Van Helmont. Llenó de agua un recipiente, lo cerró herméticamente y lo calentó de forma ininterrumpida durante 103 días. El recipiente elegido fue el denominado «pelícano», que, tal y como puede verse en la figura, permite el reflujo del líquido evaporado para que caiga de nuevo en el recipiente principal.

Al cabo de ese tiempo, Lavoisier observó que había una pequeña cantidad de tierra en el fondo del recipiente. Tras dejarlo enfriar lo pesó y comprobó que el peso era el mismo que antes de comenzar el experimento. Al quitar los cierres herméticos, comprobó que tampoco había variado la masa de agua. En cambio, sí había disminuido ligeramente la masa del recipiente. Esa cantidad era muy similar a la tierra que había en el fondo de la vasija. A partir de estos resultados llegó a la conclusión de que lo que había ocurrido era que, por efecto del calentamiento prolongado, parte del material que formaba el recipiente había pasado a la disolución. Al enfriarse, había quedado como un residuo sólido en el fondo de la vasija. Con este experimento, sencillo y a la vez irrefutable, quedó descartada la transmutación de agua en tierra. También se puso de manifiesto entonces que Lavoisier no iba a aceptar teorías ajenas, por muy sólidas y asentadas que estuvieran, sin haber comprobado si eran ciertas.

Otra de las cosas que se evidenció con este experimento fue la necesidad de disponer de instrumentación muy precisa para

determinar el valor de las magnitudes físicas estudiadas. En la mayor parte de los casos, la masa de las sustancias era una propiedad que sí se podía determinar con gran precisión y que servía para identificar el transcurso de los procesos investigados. Por eso quizá el aparato que mejor simbolice el trabajo de Lavoisier sea la balanza.

CAPÍTULO 2

El oxígeno vence al flogisto

El miembro más joven de la Academia realizó el experimento más llamativo: hizo desaparecer un puñado de diamantes sirviéndose de la luz del sol y de lentes gigantes. Lavoisier se instaló después en las dependencias del Arsenal, de cuyo laboratorio surgió una nueva ciencia. Allí, quemando azufre y fósforo, barrió el flogisto de la faz de la química con ayuda del recién bautizado oxígeno. Además, también tuvo tiempo para trabajar en la Comisión de la Pólvora, que sentó las bases del poderío militar francés.

El cambio más reseñable que el matrimonio trajo a la vida de Antoine fue que se mudó de la casa de su abuela en la Rue du Four-Saint Eustache a la casa que su padre compró para los recién casados en la Rue Neuve des Bons-Enfants. En contraste, Marie modificó de forma sustancial su vida para adaptarse a la de su marido, aunque lo hizo de una forma muy poco usual en la época: se identificó completamente con el proyecto científico de Antoine y fue adquiriendo las habilidades necesarias para ayudarlo del modo más eficaz. Dado que Lavoisier solo hablaba y escribía francés, Marie perfeccionó su latín, idioma empleado todavía en muchos documentos académicos. Por otra parte, como los mayores avances en la ciencia neumática —uno de los temas que interesaba a Antoine— se estaban haciendo en Inglaterra, Marie comenzó a estudiar inglés. Más adelante, tomaría lecciones de dibujo, bajo la eficiente dirección de Jacques-Louis David, que en esa época ya era un pintor consagrado. Además, Marie también recibió clases de química y, con el tiempo, llegó a ser una eficaz ayudante de laboratorio.

Antoine iba a necesitar toda la ayuda que Marie pudiera ofrecerle, porque al trabajo en la Ferme Générale se fueron añadiendo las cada vez más complejas tareas derivadas de su pertenencia a la Academia de Ciencias. Lavoisier atendía a todos sus compromisos de forma rigurosa, ya que su deseo era mejorar el

funcionamiento de las instituciones de las que formaba parte y también aumentar los beneficios que de ellas pudieran derivarse para su país. A pesar de que la pertenencia a la Ferme y a la Academia suponía una carga de trabajo extraordinaria, Antoine no perdía de vista su meta principal: transformar la química en una ciencia exacta.

En este ámbito, 1772 fue el año crucial para Lavoisier. Con un puesto en la Academia, su futuro económico asegurado en la Ferme y habiendo sentado las bases para formar una familia, estaba preparado para abordar un trabajo de envergadura: estudiar el papel que desempeña el aire en la combustión. El estudio de este fenómeno, sobre el cual ya había meditado largamente cuando realizaba el proyecto para iluminar las calles de París, era uno de los que más preocupaba a los científicos de la época. En toda Europa se sucedían los experimentos para esclarecer el proceso, que parecía explicado por la teoría del flogisto, o «espíritu del fuego». Según esta teoría, cuando un cuerpo ardía, perdía flogisto, y dejaba de arder cuando el aire que lo rodeaba estaba saturado de esta sustancia y no podía absorber más. Así, por ejemplo, se consideraba que el carbón y la madera tenían mucho flogisto, y por ello ardían tan bien (hoy diríamos que son materiales «reductores»).

Pero había muchos casos en los que la hipótesis del flogisto era incapaz de explicar los resultados experimentales de forma razonable. Por ejemplo, el químico francés Louis-Bernard Guyton de Morveau (1737-1816) acababa de publicar el resultado de unos experimentos de calcinación (o calentamiento al aire) de metales, en los cuales las «cales» que se formaban pesaban invariablemente más que los metales puros. Ello era contradictorio, porque, al oxidarse, los metales perdían flogisto y, sin embargo, ganaban peso. La explicación que daban a este hecho los partidarios del flogisto era que el flogisto podía tener masa negativa en algunos casos, por lo que las sustancias que lo perdían ganaban peso. Lavoisier decidió resolver esta contradicción con un plan de trabajo que pretendía acometer el estudio de la química neumática (la de los gases) y refutar o confirmar definitivamente la teoría del flogisto.

EL MISTERIO DE LOS DIAMANTES DESAPARECIDOS

En 1772 también se planteó en la Academia la necesidad de aclarar un misterio: los diamantes se suponían indestructibles por acción del fuego; sin embargo, el químico francés Jean Darcet (1724-1801) decía haber realizado varios experimentos en los que estas piedras desaparecían al calentarlas, algo que ya habían afirmado diversos científicos desde los tiempos de Boyle. Las cuestiones planteadas eran si el calor destruía o no a los diamantes y, en caso afirmativo, si la desaparición se debía a que se evaporaban o a que ardían. La Academia nombró un comité formado por Lavoisier, Pierre-Joseph Macquer (1718-1784) y Louis-Claude Cadet de Gassicourt (1731-1799), ambos reputados químicos parisinos, quienes realizaron varios experimentos en el laboratorio de Cadet, que era el mejor dotado, pero los resultados no fueron concluyentes. El problema era que para resolver el misterio se necesitaba una fuente de calor muy intenso, siendo conveniente que no requiriera combustible para que los productos de la combustión no se mezclaran con los de la sustancia estudiada. Esto no era fácil, porque hasta el descubrimiento de los mecheros Bunsen en el siglo XIX, los hornos de los laboratorios químicos se calentaban quemando carbón y avivando el fuego con fuelles.

> «Considero a la naturaleza como un amplio laboratorio químico en el que tienen lugar toda clase de síntesis y descomposiciones.»
>
> — ANTOINE LAVOISIER.

La investigación parecía haber llegado a un punto muerto porque los miembros del comité se quedaron sin diamantes con los que poder continuar sus experimentos. Entonces vino en su ayuda el joyero Maillard, quien les ofreció tres de sus mejores diamantes, siempre y cuando él controlara las condiciones en las que se llevaba a cabo el calentamiento. Maillard estaba convencido de que se requería la presencia de aire para que los diamantes desaparecieran, y quería que los químicos hicieran un experimento

que confirmara su hipótesis. Para comprobarla, pusieron los diamantes en un recipiente de arcilla que rellenaron con carbón en polvo, tras lo cual lo sellaron y lo pusieron dentro de dos crisoles, uno invertido respecto a otro, que también sellaron. Tras calentar durante varias horas en un horno convencional ese recipiente doblemente sellado, recuperaron los diamantes casi inalterados; solo se habían oscurecido ligeramente en la superficie. Este resultado parecía confirmar la idea de Maillard, pero no descartaba la hipótesis de la evaporación, pues podía haber sucedido que en el horno empleado no se hubieran alcanzado temperaturas lo suficientemente altas.

Lavoisier recordó entonces la existencia en los sótanos de la Academia de Ciencias de unas lentes de Tschirnhausen, llamadas así en honor al científico alemán que las había diseñado casi un siglo antes. Se trataba de una especie de lupas gigantes de algo más de 10 m de diámetro, que podían usarse para construir lo que entonces se denominó un «horno solar», pues concentraban los rayos solares en un área muy pequeña, en la que se podían alcanzar temperaturas mucho más altas que en un horno convencional. Además, este «horno» era mucho más limpio y fácil de controlar que el fuego de un fogón, en el cual los humos y las cenizas producidos durante el calentamiento se podían mezclar con los cuerpos del proceso estudiado. Los primeros experimentos no tuvieron el éxito esperado, porque las lentes no estaban bien pulidas y tenían muchos defectos. Entonces se diseñó un dispositivo basado en el mismo efecto, pero en lugar de estar formado por lentes macizas estaba constituido por un recipiente hueco relleno de alcohol. La construcción de estas nuevas lentes fue sufragada por Montigny, un noble aficionado a la ciencia que era amigo de Lavoisier. Con este nuevo dispositivo Lavoisier, junto con Macquer, Cadet y el físico Mathurin-Jacques Brissons (1723-1806), realizaron en el Jardin du Roi el famoso experimento de octubre de 1772.

El experimento fue todo un espectáculo contemplado por multitud de curiosos, incluidas algunas damas que llevaron sus mejores galas para la ocasión. Lavoisier llevaba gafas ahumadas para proteger sus ojos del intenso rayo de luz. Además de los diamantes de Maillard, se estudió el efecto del calor en rubíes,

EL DISPOSITIVO DE LAS LENTES DE TSCHIRNHAUSEN

En este grabado dedicado a las lentes de Tschirnhausen se puede observar un dispositivo similar al empleado por Lavoisier en el experimento de los diamantes.

A. Lente grande formada por dos trozos de vidrio convexos rellenos de alcohol.

B. Lente más pequeña que focaliza aún más los rayos de sol.

C. Fijación del dispositivo al suelo.

D. Soporte ajustable del crisol.

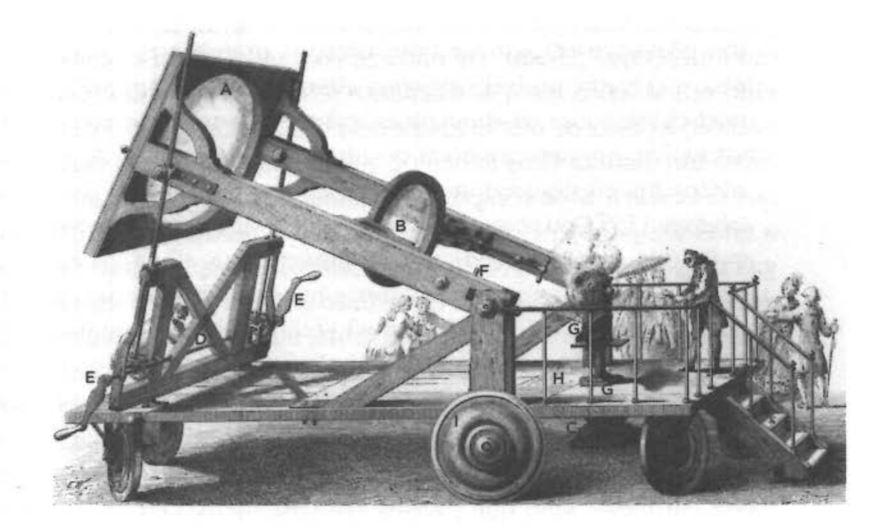
E. Manivelas para accionar el dispositivo y subir y bajar la gran lente.

F. Mecanismo para aproximar o alejar la lente pequeña a la lente grande.

G. Crisol con las sustancias a calentar.

H. Plataforma donde se sustentaba todo el dispositivo.

I. Ruedas para desplazar la plataforma.



calentándolos tanto al aire como en recipientes sellados. Cuando el calentamiento se llevó a cabo en recipientes sellados, es decir, en ausencia de aire, ninguna de las piedras preciosas sufrió cambios. En cambio, cuando el calentamiento se realizó al aire, los diamantes fueron haciéndose cada vez más pequeños y en 20 minutos habían desaparecido sin dejar rastro (he aquí una prueba irrefutable para saber si una piedra transparente es un diamante: si al calentarlo al aire a muy alta temperatura desaparece sin dejar rastro, lo era). Por su parte, los rubíes —que son óxido de aluminio cristalino (Al_2O_3) con pequeñas cantidades de cromo— no se alteraron. El experimento se realizó de forma que, en el caso de que los hubiera, se pudieran recoger los gases producidos. Para ello se empleó un dispositivo similar al diseñado por Stephen Hales (1677-1761), que posteriormente fue modificado por Priestley. Para sorpresa de todos, el gas obtenido resultó ser el llamado «aire fijo» por Joseph Black (1728-1799), que se producía por la combustión de carbón.

Lavoisier fue el encargado de elaborar una memoria —que se conserva aún hoy— y presentarla ante la Academia, explicando que los diamantes no se evaporaban, sino que ardían, aunque sin llama. Pero más allá de detallar de forma clara y concisa los experimentos realizados y los resultados obtenidos, el proceso le dio mucho que pensar. De entrada concluyó que si el gas producido era el «aire fijo», el diamante tenía que ser una especie de carbón, a pesar de que la apariencia del carbón y la del diamante fuese tan distinta (hoy sabemos que los diamantes son carbono y que tienen la misma composición química que el carbón, por lo que a altas temperaturas arden produciendo dióxido de carbono, el gas responsable del efecto invernadero). Aunque nadie pensaba de esta forma, él ya había empezado a intuir que en un proceso químico nada se creaba ni se destruía, sino que se transformaba, por lo que si se obtenía el mismo producto, se debía partir del mismo reactivo. Por otra parte, dado que se requería aire para que la combustión tuviera lugar, puede que el aire no fuera solo el medio en el que transcurrían los procesos químicos, como se creía hasta entonces, sino que tuviera un papel activo en los mismos. Los interrogantes planteados eran dos: ¿en qué consistía la acción

del aire que hacía que los diamantes desaparecieran? y ¿qué papel tenía el flogisto?

De hecho, la reacción que causaba la desaparición de los diamantes es la combustión, es decir, la reacción con el oxígeno del carbón, donde el aire fijo de Black es el CO_2:

$$C\,(\text{sólido}) + O_2\,(\text{gas}) \rightarrow CO_2\,(\text{gas}).$$

En cuanto a los rubíes, como son un óxido, no reaccionan con el oxígeno del aire, puesto que en ellos el aluminio está oxidado y ya ha reaccionado con él.

FÓSFORO, AZUFRE Y PLOMO

Una vez que comprobó la eficacia del llamado «horno solar», Lavoisier lo empleó para hacer experimentos de calentamiento. Para avanzar en la comprensión de los procesos de combustión, primero estudió los cambios que sufrían otras dos sustancias no metálicas, el fósforo y el azufre. Desde hacía mucho tiempo se sabía que el fósforo blanco ardía de forma espontánea, siendo un proceso muy llamativo por desprenderse en el mismo mucho calor.

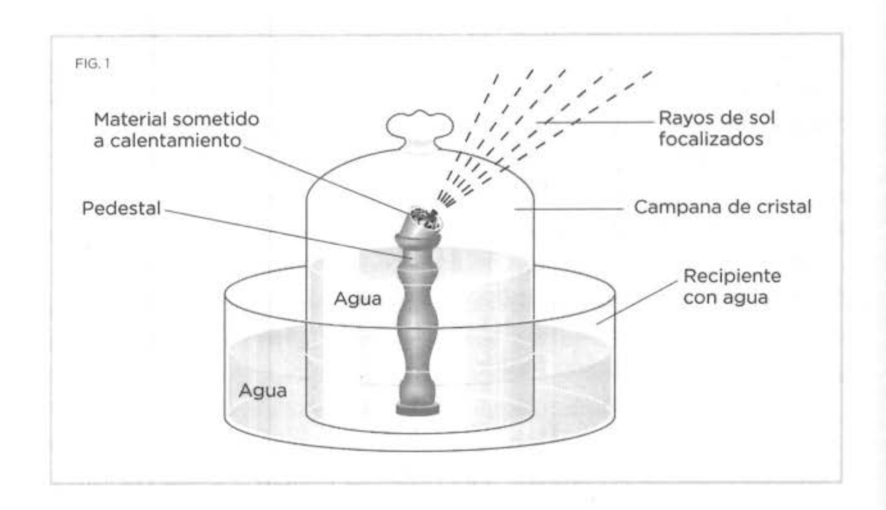
Cuando Lavoisier lo estudió, obtuvo una información adicional: confirmó lo que ya había indicado Hales, que el peso del fósforo aumentaba al arder; además, lo hacía en una cantidad significativa. A diferencia del producto formado cuando ardían los diamantes, el obtenido en la combustión del fósforo era sólido, por lo que se pudo pesar con precisión. A finales de 1772 Lavoisier envió una nota a la Academia en la que explicaba que el fósforo absorbía aire en gran cantidad, y que lejos de perder peso —como cabría esperar de la pérdida de flogisto— ganaba un peso igual al del aire que absorbía. El nuevo compuesto formado era el «espíritu ácido del fósforo», pues al mezclarlo con agua daba lugar a lo que hoy llamamos ácido fosfórico.

$$P_4 + 5\,O_2 \rightarrow P_4O_{10};$$
$$P_4O_{10} + 6H_2O \rightarrow 4H_3PO_4.$$

Al realizar un estudio similar con el azufre, Lavoisier observó que le sucedía algo parecido: ganaba peso y, al mezclarlo con agua, daba lugar al «espíritu del vitriolo» (lo que hoy conocemos como ácido sulfúrico). También observó que partiendo de una libra de azufre se obtenía mucho más de una libra de vitriolo.

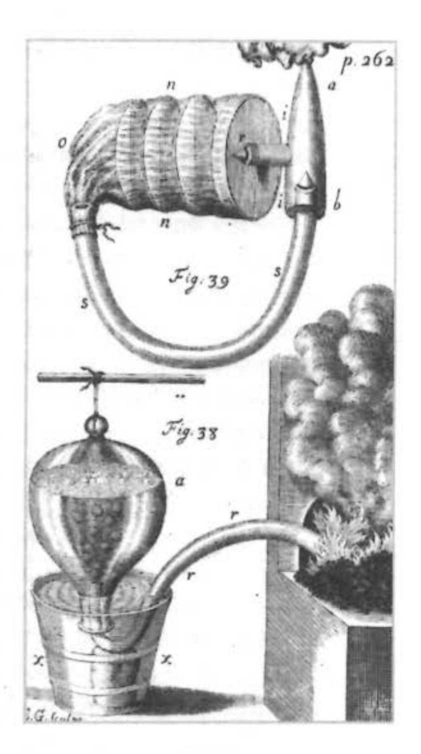
$$S + {}^{3}/_{2}\,O_2 \rightarrow SO_3;$$
$$SO_3 + H_2O \rightarrow H_2SO_4.$$

El siguiente paso fue estudiar la trasformación que sufría la «cal» de un metal (el litargirio u óxido de plomo) cuando se calentaba con ayuda de una lente de Tschirnhausen en presencia de carbón, que como ya hemos indicado entonces se consideraba fuente de flogisto. Lavoisier recogió el «fluido elástico» (aunque Van Helmont había propuesto la palabra «gas» un siglo antes, el uso de este término aún no estaba aceptado) desprendido sobre agua que había sido recubierta de una capa de aceite para que no absorbiera el gas. Para medirlo, empleó el dispositivo del pedestal diseñado por Hales. Tal y como muestra la figura 1, se trataba de una campana de cristal llena parcialmente de agua, en el centro de la cual había un pedestal sobre el que colocó un crisol que contenía el material a calentar. Los rayos de sol focalizados llega-



AIRES, CAOS Y FANTASMAS

Hoy sabemos que el hecho de que un elemento o compuesto exista en estado sólido, líquido o gaseoso depende de su presión y temperatura, por lo que resulta casi imposible imaginar la época en que no se identificaban los gases como sustancias materiales. Pero es lógico que así fuera, pues al ser entes sin forma ni volumen definidos, invisibles e inodoros en muchos casos y, por tanto, difíciles de capturar, su estudio no era fácil. Por ello el hito más importante de la revolución química anterior a Lavoisier fue el esclarecimiento de la existencia de distintos tipos de «aires» y el diseño de dispositivos capaces de atraparlos. El flamenco Jan Baptista van Helmont es reconocido como el padre de la «ciencia neumática», ya que en el siglo XVII estudió todos los aires a su alcance, aunque no pudo determinar su composición. Identificó el aire existente en las aguas termales, que era también el formado al quemar carbón, y el que había en las bodegas donde fermentaba el vino (CO_2); por otro lado, estaban el que escapaba cuando se quemaba azufre (SO_2) y los inflamables que emanaban de los intestinos y se desprendían de la materia en la putrefacción (H_2, CH_4, H_2S). Fue también Van Helmont quien inventó el vocablo «gas». La mayor parte de los historiadores de la ciencia afirman que se trata de una palabra de raíz griega que significa «caos», aunque Lavoisier lo relacionaba con otro vocablo, que significa «fantasma». En cualquier caso, el nombre tardó casi dos siglos en ser aceptado. Durante mucho tiempo se consideró que el «aire común», es decir, la atmósfera que nos rodea, era solo el medio en el que tenían lugar las reacciones químicas, pero que no tenía ningún papel en las mismas. A comienzos del siglo XVIII los experimentos del inglés Stephen Hales y los del escocés Joseph Black pusieron de manifiesto que en reacciones como la combustión podía ser también un reactivo.



Para la identificación de los «aires» era imprescindible que no escaparan a la atmósfera; para recogerlos, Hales diseñó el montaje que se ve en la figura, que pertenece a su obra *Vegetable Staticks* (1727). Una vez perfeccionado, fue determinante en la identificación de los distintos gases.

ban al crisol a través de la superficie de la campana, que estaba sumergida en otro recipiente que también contenía agua.

Lavoisier comprobó que conforme se iba reduciendo la cal para formar el metal puro, iba produciéndose un gas que hacía descender el nivel del agua en la campana interior. El volumen del gas producido era unas 750 veces superior al del litargirio empleado.

Para entender este enorme incremento de volumen hay que tener en cuenta que el litargirio es un compuesto sólido, mientras que el «aire» producido era un gas, y sólidos y líquidos ocupan volúmenes mucho menores que los gases. Como dato orientativo pensemos que un mol de cualquier gas en condiciones normales (P = 1 atm, T = 0 °C) ocupa 22,4 litros, mientras que, por ejemplo, un litro de agua líquida, cuya densidad es un gramo por mililitro, pesa 1 kg, y dado que su fórmula es H_2O, contiene 55,55 moles.

Gas: 1 mol → 22,4 litros.
Agua (líquida): 1 litro → 55,55 moles.

La densidad del resto de sólidos y líquidos suele ser superior; así, por ejemplo, la del cobre es del orden de 7 gramos por mililitro, y la del mercurio superior a 13.

Tras confirmar este aumento de volumen, Lavoisier repitió el experimento del fósforo, pero esta vez lo realizó en un recipiente cerrado para determinar si había variación en el volumen del aire a su alrededor. Comprobó que este había disminuido entre un quinto y un sexto de la cantidad inicial. Hizo varios experimentos para determinar la ganancia de peso y finalmente concluyó que 154 granos de fósforo absorbieron durante su combustión 89 granos de aire, o de algún otro fluido elástico contenido en el aire que respiramos (los granos eran una unidad de peso usada en la época, al igual que la libra: 1 libra de París = 16 onzas; 1 onza de París = 8 gros; 1 gros = 72 granos; 1 libra de París equivalía a 489 gramos).

Además, observó que en un recipiente cerrado solo podía oxidarse una cantidad determinada de fósforo, que correspondía aproximadamente al consumo de un quinto del volumen total. An-

ticipando la importancia de estos experimentos, pero no atreviéndose a hacer pública la explicación de los mismos, depositó una nota sellada en la Academia el 1 de noviembre de 1772 en la que detallaba sus conclusiones:

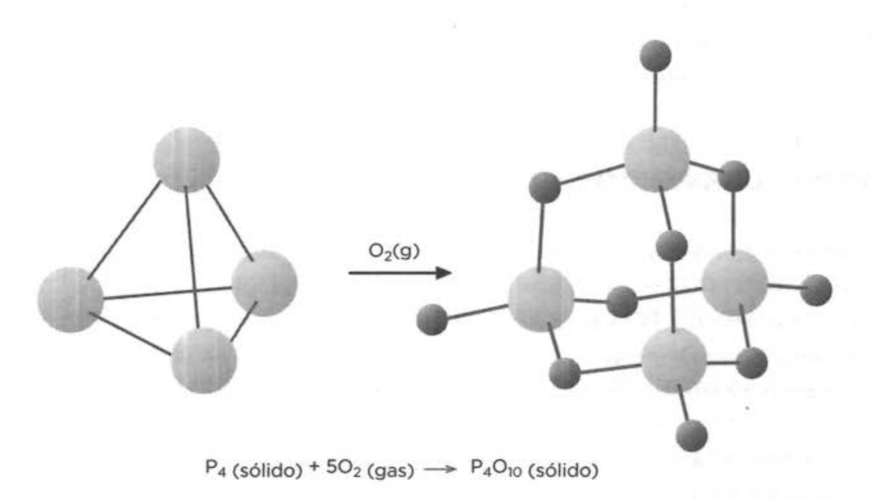
> Este incremento de peso proviene de la prodigiosa cantidad de aire que es fijado durante la combustión y que se combina con los vapores. Lo que sucede al azufre y al fósforo me lleva a pensar que lo observado en la combustión de estos elementos puede suceder en la mayor parte de las sustancias: que ganen peso en la combustión o en la calcinación. Estoy convencido de que el incremento de peso cuando se forman las cales metálicas se debe a la misma causa. Los experimentos me han llevado a la misma conclusión: calentando el litargirio en una vasija cerrada con el aparato de Hales he observado que cuando la cal se transforma en metal se desprende una gran cantidad de aire y que este aire ocupa un volumen 750 veces mayor que la cantidad de litargirio empleado.

Esta fue la primera descripción acertada del proceso de combustión. Fue una auténtica revolución, pues no se hacía uso de la teoría aceptada por todos los químicos europeos durante más de cincuenta años, la teoría del flogisto. También se señalaban las diferencias entre el denominado «aire fijo» (CO_2), desprendido en la reducción del litargirio con carbón, y el «aire común» ($O_2 + N_2$). Según Hales eran la misma sustancia, mientras que según otros científicos los dos «aires» presentaban características muy distintas, pues mientras que el «aire común» era imprescindible para la vida, el «aire fijo» mataba a los animales que lo respiraban y extinguía la llama.

En febrero de 1773 Lavoisier comenzó un nuevo cuaderno de laboratorio con un plan de trabajo que pretendía acometer el estudio de la química neumática y refutar o confirmar definitivamente la teoría del flogisto. Pero su objetivo real era aún más ambicioso. Los resultados de los experimentos que había realizado lo llevaron a plantearse la necesidad de reformular la química tal y como se conocía entonces, o dicho con sus propias palabras, «ocasionar una revolución en la física y en la química».

FÓSFORO PIROFÓRICO

Hay muchas formas alotrópicas del fósforo, es decir, formas en las que se puede encontrar este elemento que tienen igual composición química —átomos de fósforo—, pero distinta estructura y propiedades. Los ejemplos más conocidos de formas alotrópicas de muy distinta apariencia son el diamante y el grafito, dos de las formas en que se puede encontrar el carbono. En el caso del fósforo, las formas alotrópicas más conocidas son el blanco y el rojo, pero también existe el fósforo violeta y el negro. El más reactivo es el blanco, que está compuesto por moléculas que tienen cuatro átomos de fósforo (P), uno en cada uno de los vértices de un tetraedro. En contacto con el aire arde de forma espontánea, por lo que se dice que es pirofórico, dando lugar al óxido P_4O_{10}. Este óxido es mucho más estable que el fósforo blanco de partida, por lo que en el proceso se desprende mucha energía. Para evitar que arda, el fósforo blanco se almacena en agua. Hoy entendemos este proceso, entre otras cosas porque Lavoisier inventó una nomenclatura sistemática para los compuestos químicos y porque definió la ley de conservación de la masa. La reacción del fósforo con el oxígeno da lugar a un óxido, como en el caso de los diamantes, pero a diferencia del dióxido de carbono, el óxido de fósforo es sólido, por lo que tras la reacción el óxido formado no escapa a la atmósfera y, por tanto, puede pesarse fácilmente. En la figura adjunta puede observarse el proceso de reacción del fósforo con el oxígeno. Se mantiene aproximadamente la distribución original de los cuatro átomos de fósforo, pero, en el óxido, se intercala un átomo de oxígeno (gris oscuro) entre cada dos átomos de fósforo (gris claro en el P_4 y en el P_4O_{10}).



P_4 (sólido) + $5O_2$ (gas) ⟶ P_4O_{10} (sólido)

> Antes de comenzar una serie de experimentos que me propongo hacer en el fluido elástico que se desprende de los cuerpos por fermentación, destilación y finalmente por todos los tipos de combinación, así como por el aire absorbido en la combustión de un gran número de sustancias, tengo que escribir una serie de reflexiones para elaborar el plan que debo seguir. Por muy numerosos que sean los experimentos realizados por los señores Hales, Black, Macbride, Jacquin, Crantz, Priestley y Smeth sobre este tema, sigue siendo necesario que sean tan numerosos que formen un cuerpo completo de teoría. [...] La importancia del tema me ha llevado a realizar todo este trabajo, que me parece hecho para ocasionar una revolución en la física y en la química. Creo que no debo considerar todo lo realizado hasta ahora más que como indicaciones; me propongo repetirlo todo con nuevas precauciones, para relacionar lo que conocemos sobre el aire que se fija o se libera de los cuerpos con otro conocimiento adquirido, y formar una teoría. Los trabajos de los diferentes autores que he citado, considerados desde este punto de vista, me parecen como los eslabones de una gran cadena; han enlazado algunas ideas. Pero queda pendiente la realización de una gran cadena de experimentos, para formar una continuidad.

Lavoisier había definido el objetivo de su trabajo, no le quedaba más que alcanzarlo.

«OPÚSCULOS FÍSICOS Y QUÍMICOS»

Aunque desde que presentó en la Academia su primera memoria sobre el yeso en 1764 no había dejado de enviar memorandos y notas, en enero de 1774 Lavoisier publicó su primera gran obra, *Opúsculos físicos y químicos*, en la que recogía los resultados de la mayor parte de sus experimentos, aunque apenas proponía hipótesis que los explicaran. En este texto adoptó una estructura que anticipaba la que tienen hoy en día los artículos científicos: en una primera parte recogía los resultados obtenidos por los otros científicos que habían trabajado anteriormente en el mismo

campo, y en la segunda detallaba sus propios experimentos. En estos últimos comenzaba por repetir los experimentos que se habían realizado previamente, y comprobaba si los resultados obtenidos por él coincidían con aquellos y si le satisfacían las conclusiones a las que habían llegado sus colegas. Tanto Hales como Black proponían que el aire que se encontraba en las «cales» era «aire fijo», mientras que él se inclinaba a pensar que era «aire común» o una sustancia presente en él.

Tras la publicación de la obra, Lavoisier siguió haciendo experimentos empleando las potentes lentes de Tschirnhausen, las cuales, tras las modificaciones realizadas por él mismo, permitían calentar a las temperaturas más altas jamás alcanzadas. Con estas lentes había calentado todos los cuerpos a su alcance, tanto en ausencia como en presencia de aire. Deseaba obtener información tanto sobre la combustión como sobre los procesos de fusión. Empezaba a vislumbrar la idea de que todos los cuerpos sólidos podían llegar a fundirse si se calentaban a temperaturas lo suficientemente altas. Por ello empleó el horno solar para calentar en él todos los cuerpos simples y compuestos a los que tuvo acceso. Quería comprobar una idea que vislumbraba desde hacía tiempo: que los cuerpos no estaban siempre en forma de sólidos o líquidos, sino que podían pasar de una forma a otra, incluso formar «aires» si se encontraban a la temperatura y presión adecuadas. Esto que hoy parece una trivialidad, en el último cuarto del siglo XVIII era una hipótesis aún más revolucionaria que decir que el flogisto era una entelequia.

A lo largo del verano de 1774 Lavoisier había conseguido fundir muchos metales, pero algunos, como el platino, se le resistían. Hoy sabemos que ello se debe a que el platino tiene una temperatura de fusión de casi 1 800 °C, mientras que el resto de los metales conocidos en la época la tienen mucho más baja; por ejemplo, el estaño, 232 °C; el plomo, 327 °C; el cinc, 420 °C, y el cobre, 1 083 °C. Lavoisier llegó a la conclusión correcta de que su fracaso con el platino se debía a una limitación técnica —la temperatura que alcanzaba con las lentes no era lo bastante alta— y no a un fallo de la teoría de los tres estados de agregación de la materia que empezaba a vislumbrar.

PRIESTLEY Y LA CONTROVERSIA DEL OXÍGENO

Podría pensarse que los científicos son espíritus puros a los que no les interesa la fama ni el reconocimiento público. Es posible que haya algunos colectivos a los que la celebridad les interese más, como por ejemplo los actores, que necesitan ser visibles para que los contraten, pero desde luego los científicos en general no suelen ser insensibles a la fama. Lavoisier no lo era, y tampoco lo eran sus coetáneos científicos, incluyendo al pastor disidente británico Joseph Priestley, que mantuvo una lucha encarnizada con Lavoisier por la preeminencia en el descubrimiento del oxígeno. El encono de Priestley fue tal que lo hizo obcecarse y rechazar siempre las propuestas de Lavoisier que desmontaban la teoría del flogisto. Esto es llamativo, porque sin tener la visión de conjunto de Lavoisier, Priestley era un científico muy perspicaz que realizó más experimentos que nadie en los que la hipótesis del flogisto era completamente superflua. Incluso el irlandés Richard Kirwan (1733-1812), que se había erigido en bastión de esta teoría y era el autor de un tratado sobre el flogisto que Marie había traducido para Antoine, escribió a Lavoisier poco antes de que lo detuvieran, rindiéndose ante la superioridad de los argumentos de su teoría de la combustión.

Tanto Priestley como Lavoisier parecieron olvidarse del auténtico descubridor del oxígeno, que aún hoy ostenta el récord de elementos y compuestos descubiertos: el farmacéutico sueco Carl Wilhelm Scheele. No se tiene constancia de que Priestley estuviera al corriente del descubrimiento de Scheele; Lavoisier, sin embargo, sí debía de estarlo, pues en septiembre de 1774, cuando estaba inmerso en el estudio del gas que lo haría pasar a la posteridad, recibió una carta del científico sueco. Scheele le explicaba en su misiva sus investigaciones sobre este «aire» y, aunque Lavoisier nunca hizo comentario alguno sobre la carta, esta se encontró convenientemente archivada entre sus documentos.

A comienzos de 1774 el químico francés Pierre Bayen (1725-1798) dio cuenta del hecho de que el *mercurius calcinatus per se*, también conocido como cal roja de mercurio —denominado hoy óxido de mercurio (HgO)—, se reducía a metal simplemente

SCHEELE, UN HÉROE QUÍMICO



Carl Wilhelm Scheele (1742-1786), nacido en Straslund (Suecia), había trabajado desde niño en farmacias de Gotemburgo, Estocolmo y Malmö, y en 1775, a los treinta y tres años, había ahorrado lo suficiente como para cumplir su sueño: comprar una farmacia propia en Köping para poder experimentar sin restricciones. Scheele realizó varios descubrimientos y fue nombrado miembro de la Real Academia de Ciencias de Suecia, por lo que varias universidades europeas le ofrecieron plaza como profesor. Pero él prefirió seguir en su farmacia, atendiendo las demandas de sus clientes y trabajando a su aire. Y eso fue lo que hizo hasta el final de sus días. Con escasísimos medios, pero con una intuición extraordinaria, es el químico que ostenta el récord de elementos naturales descubiertos: nitrógeno, oxígeno, cloro, manganeso, molibdeno, bario y wolframio. No obstante, en todos los casos tuvo que compartir el mérito con otros científicos, porque no hizo públicos sus descubrimientos hasta años después de haberlos realizado. Eso fue lo que pasó con el oxígeno, que sintetizó por primera vez en 1772 por descomposición de clorato potásico, pero como no lo publicó hasta 1777 su descubrimiento se atribuyó a Priestley, que lo obtuvo por el calentamiento de la cal roja de mercurio en agosto de 1774. Además, Scheele preparó el sulfato de bario (la papilla que se ingiere antes de las radiografías de estómago), los compuestos orgánicos glicerina y lactosa, y los ácidos tartárico, cítrico, láctico, úrico y oxálico. El mineral wolframato de calcio ($CaWO_4$) se llama «scheelita» en su honor. Intentando aislar el colorante azul de Prusia, Scheele aisló el peligroso ácido cianhídrico (cuyo sabor y olor describió con precisión) y la arsenamina, el compuesto más tóxico del arsénico. Fue el primero en reseñar el efecto de la luz sobre las sales de plata, fenómeno precursor de la fotografía. Pero lo que le trajo más prosperidad fue el descubrimiento del pigmento verde Scheele o arsenito ácido de cobre ($CuHAsO_3$), empleado por pintores tan famosos como Joseph Turner y Édouard Manet. Su temprana muerte, a los cuarenta y tres años, fue consecuencia directa de su trabajo, aunque no se sabe si a causa de un envenenamiento —Scheele, como otros investigadores de la época, tenía la temeraria costumbre de probar los productos químicos que descubría— o de un accidente en el laboratorio.

calentándolo, sin necesidad de carbón. Este resultado desconcertaba a Lavoisier, puesto que el flogisto (supuestamente aportado por el carbón) no parecía ser necesario. Al otro lado del canal, Joseph Priestley comprobó lo que había constatado Bayen, pero siendo experto en atrapar «aires» observó en este experimento cosas aún más interesantes.

En agosto de ese año lord Shelburne y Priestley, que por entonces trabajaba para él como bibliotecario y «compañía filosófica», pusieron rumbo al continente. En octubre llegaron a París, ciudad en la que Priestley fue acogido por los miembros de la Academia de Ciencias con el ceremonial debido a un reputado científico británico. Dos años antes, Priestley había recibido la prestigiosa medalla Copley de la Royal Society inglesa, en reconocimiento a sus descubrimientos de los diferentes «aires» y a sus estudios sobre la electricidad. Lavoisier era una de las personas más interesadas en esta visita, pues Priestley había desarrollado y mejorado los métodos de sus compatriotas Hales y Black para el estudio de la química neumática, por lo que había obtenido los resultados más avanzados en esa ciencia. Así es que Lavoisier no solo agasajó a Priestley en la Academia, sino que lo recibió en su propia casa. En ella el reverendo Priestley se encontró con la agradable sorpresa de contar con una intérprete de excepción, la señora Lavoisier, que ya hablaba inglés fluidamente.

En esta visita, Priestley y Lavoisier intercambiaron información sobre los experimentos que estaban realizando, en particular, los relacionados con la combustión. Lavoisier seguramente le informó de sus trabajos con las lentes de Tschirnhausen. Los medios de Priestley eran mucho más modestos, pero tras su incorporación al servicio de lord Shelburne había empezado a montar un laboratorio nada desdeñable. También contaba con más tiempo para trabajar en él, y lo que le faltaba en medios lo suplía con imaginación y con su extraordinaria habilidad para el trabajo en el laboratorio.

Uno de los experimentos que había realizado Priestley poco antes de viajar a Francia, en concreto, el 1 de agosto de 1774, lo tenía particularmente contento, pues intuía que revelaba la existencia de un nuevo «cuerpo neumático» de propiedades singula-

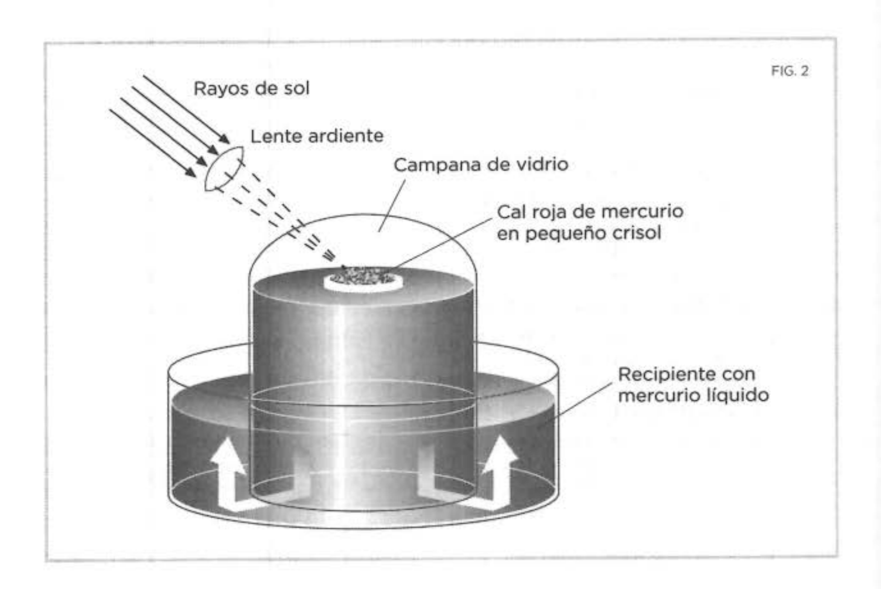
res. Priestley había calentado *mercurius calcinatus per se* y había obtenido un «aire» de propiedades singulares que había recogido por el método de Hales.

Lo que hacía tan interesante este experimento es que a diferencia de los óxidos del resto de los metales, que necesitan carbón para reducirse, el de mercurio se reduce con solo calentarlo a unos 400 °C, proporcionando de esta forma oxígeno puro.

$$HgO \text{ (sólido)} \rightarrow Hg \text{ (líquido)} + O_2 \text{ (gas)}.$$

La cal roja, por su parte, se obtiene por calentamiento del mercurio en presencia de oxígeno a 350 °C.

Con este relato Priestley consiguió contagiar su entusiasmo a Lavoisier, incluso más de lo que le hubiera gustado. Según le contó al científico francés, puso el *calcinatus* en un pequeño recipiente que colocó sobre el mercurio que había dentro de una campana de vidrio invertida dispuesta a su vez sobre otro recipiente que también contenía mercurio, tal y como se puede apreciar en la figura 2. Tras calentarlo mediante lentes focalizadoras (mucho más pequeñas e imperfectas que las gigantes de la Academia),



PRIESTLEY, EL PASTOR DEL AGUA DE SODA



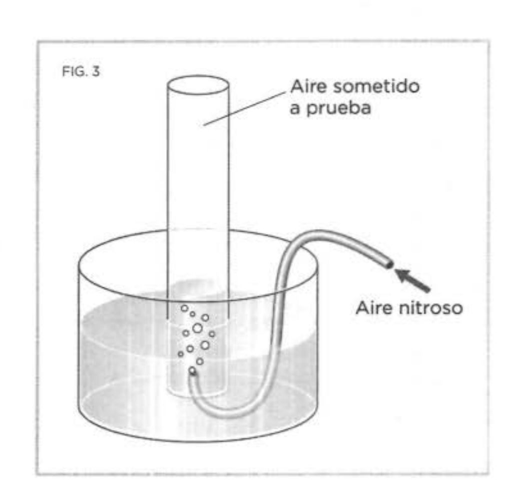
El pastor protestante Joseph Priestley (1733-1804) no aceptó al rey de Inglaterra como autoridad máxima de la Iglesia y por ello sufrió diversas discriminaciones, como no poder acceder a la universidad. Sin embargo, fascinado por la electricidad, inició una carrera científica que se vio determinada por un encuentro con Benjamin Franklin (1706-1790), que lo animó a publicar el tratado de electricidad que estaba escribiendo y a que siguiera su vocación científica. El americano se convirtió en un referente científico y personal a lo largo de toda su vida y Priestley llegó a ser la máxima autoridad de la ciencia neumática en Inglaterra. Mejorando los pobres montajes que sus compatriotas Hales, Mayow y Black habían desarrollado para controlar los «aires», descubrió y analizó más aires que nadie: los óxidos de nitrógeno (NO, NO_2 y N_2O), el ácido muriático (HCl), el aire sulfuroso (SO_2), los componentes del aire común (N_2 y O_2), el aire alcalino (NH_3) y el letal monóxido de carbono (CO). Al igual que Lavoisier, consideraba que la base de la ciencia eran los hechos experimentales y no las elucubraciones abstractas, y también como su colega francés consideraba que la clave de la riqueza de una sociedad estaba en el conocimiento científico, unas ideas que en la época eran completamente revolucionarias. Buscando relaciones entre la ciencia y la industria, descubrió la forma de preparar agua de Seltz, que hasta entonces era un lujo solo al alcance de los que podían pagar las aguas traídas de los manantiales naturales. Fue menos perspicaz a la hora de aferrarse a la teoría del flogisto y defenderla más allá incluso de lo que habían propuesto sus inventores. Apoyó la Revolución americana y luego la francesa, lo que casi le cuesta la vida, pues sus conciudadanos de Birmingham intentaron lincharlo en 1791, cuando celebraba, junto con unos amigos, el segundo aniversario de la toma de la Bastilla. Ya fuera por sus creencias religiosas o políticas, sus relaciones con los miembros de la Royal Society también se vieron muy deterioradas, por lo que el pastor disidente emigró a las colonias americanas. Por mediación de Franklin tuvo ofertas de las más prestigiosas universidades, que rechazó, aunque hizo algunas presentaciones en la sociedad científica de Filadelfia. Fue amigo de George Washington y asesor de Thomas Jefferson en temas de ciencia. Murió en 1804, durante la presidencia de este último.

obtuvo un «aire» particularmente apropiado para la respiración que avivaba las llamas de las velas.

Priestley había diseñado con anterioridad un procedimiento para determinar la «bondad» del aire común, pues había observado que este reaccionaba con el «aire nitroso» de forma proporcional a la «bondad» del aire. Poniendo un tubo invertido sobre agua, tal y como muestra la figura 3, los productos formados tenían menor volumen, por lo que el agua ascendía en el tubo invertido hasta llegar al valor que indicaba que había desaparecido un quinto del aire inicial. Lo que Priestley llamaba «aire nitroso» es lo que hoy conocemos como NO, que reacciona con el oxígeno del aire para dar NO_2. En los reactivos hay 3 moles de gases y en los productos solo 2, por lo que hay una disminución de un tercio en el volumen, que era lo que Priestley medía.

$$2NO\,(g) + O_2\,(g) \rightarrow 2\,NO_2\,(g).$$

Esa era la máxima «bondad» del aire, la máxima contracción observada. Hoy sabemos que esa reducción de volumen corresponde al consumo de todo el oxígeno, que es un 20% del volumen total del aire. Antes de diseñar este método, Priestley usaba ratones para determinar la «bondad» del aire, pero los resultados no eran reproducibles, pues había algunos que tardaban en morir el doble de tiempo que otros, respirando todos un «aire» de la misma calidad.



Cuando empleó el método del «aire nitroso» para evaluar la calidad del «aire» obtenido por calentamiento de la cal de mercurio, observó que era mucho mejor que el aire común (era 100% oxígeno). A su vuelta a Inglaterra tras el viaje a Francia, Priestley repitió el experimento de la cal de mercurio, y comprobó que los ratones podían vivir en el aire obtenido mucho más tiempo que en el aire común, que las llamas de las

velas brillaban más y que la madera se quemaba más deprisa. Entonces probó él mismo a respirar ese aire, no observando de entrada ninguna sensación diferente a las que experimentaba al respirar aire común. No obstante, le pareció que sus pulmones se sentían más livianos después de haberlo respirado y vaticinó que ese «aire puro» podía ser usado en el futuro para tratar a personas que padecieran enfermedades pulmonares. Según constató, «hasta el momento solo dos ratones y yo hemos tenido el privilegio de respirarlo». Como se puede ver, los químicos de la época eran osados: respiraban una nueva sustancia tras haber probado su inocuidad solo en dos ratones.

> «Un conocimiento íntimo de lo que se ha hecho antes que nosotros no puede sino facilitar enormemente nuestro futuro progreso, si no es absolutamente necesario para ello.»
>
> — Joseph Priestley.

Como se ha explicado anteriormente, en la teoría del flogisto se suponía que el aire tenía una cierta capacidad de absorber el flogisto desprendido tanto en la combustión como en la respiración, y cuando esta capacidad se saturaba —como una esponja empapada de agua— y ya no podía absorber más, entonces los animales morían o las llamas se extinguían. Como el «aire» obtenido por calentamiento de la cal de mercurio permitía que las velas ardieran mejor y que los ratones vivieran más tiempo, Priestley supuso que estaba completamente libre de flogisto, por lo que lo llamó «aire deflogisticado», un aire libre del flogisto desprendido en los fuegos de los hornos y por la respiración. Así lo describió en una famosa carta escrita el 15 de marzo de 1775, en la cual decía que el aire desprendido al calentar la cal de mercurio era entre cinco y seis veces mejor para la respiración que el normal o atmosférico, tal y como había comprobado por el método del «aire nitroso».

Mientras tanto, en Francia, Lavoisier había repetido el experimento de Priestley con la cal de mercurio, con el fin de comprobar su hipótesis de que en las cales de los metales había un aire que no era exactamente el «aire fijo» formado en la reacción de la

combustión. Él suponía que el «aire» presente en las cales (hoy sabemos que es oxígeno) no era exactamente igual que el que se desprendía de ellas tras calentarlas con carbón, que era cuando se había detectado el «aire fijo» (CO_2). La existencia de una cal, la de mercurio, que no requería carbón, era la evidencia más simple de la existencia del nuevo aire. Lavoisier supuso que era lo mismo que había hecho aumentar de peso el fósforo y el azufre cuando se oxidaban. Cuando publicó sus *Opúsculos* en 1774 todavía no estaba seguro de si el aire que se combinaba con los metales en la combustión era «aire fijo», «aire común» u otro «aire puro» presente en la atmósfera.

En mayo de 1775, tras repetir los experimentos de Priestley e interpretarlos siguiendo su hipótesis inicial, publicó una reseña en la que se inclinaba por la última hipótesis: lo que se combinaba con los metales para formar las cales era «aire eminentemente respirable». El contenido de la nota era similar a la que había publicado Priestley con una salvedad: Lavoisier no invocó la teoría del flogisto, no le hacía falta.

Tampoco mencionó los experimentos previos de Priestley con la cal roja, a pesar de que el experimento de Lavoisier era esencialmente el mismo y de que el británico le había informado de ello personalmente durante su estancia en París en octubre de 1774. Lavoisier era extraordinariamente escrupuloso a la hora de reconocer a cada científico su mérito, por lo que esta omisión es sorprendente. La controversia a la que ello dio lugar llegó a ser de tal calibre que algunos científicos llegaron a cuestionar toda la obra de Lavoisier, incluso después de su muerte.

EL LABORATORIO DEL ARSENAL

Antes de poder formular la teoría de la combustión, Lavoisier fue requerido por nuevos asuntos de Estado. Tras la muerte de Luis XV y el ascenso al trono de Luis XVI en 1774, el fisiócrata Jacques Turgot (1727-1781) sustituyó al tío de Madame Lavoisier, el abad Terray, al frente de las finanzas estatales. Sin embargo,

a consecuencia de años de despilfarro y mala gestión, las arcas del Estado estaban vacías. Una de las grandes fuentes de gasto era la munición del ejército; en teoría, el Estado tenía el suministro garantizado por una compañía que poseía el monopolio de la fabricación de pólvora, pero la realidad era que las pésimas condiciones del contrato hacían que la pólvora «nacional» llegara al ejército francés en cantidades insuficientes y con una calidad muy deficiente. Por ello el Estado tenía que comprar pólvora en el extranjero a precios muy elevados, mientras que la compañía francesa vendía sus mejores partidas al mejor postor, incluidos los enemigos de Francia. Este caos en el suministro de la pólvora no fue ajeno al catastrófico final de la Guerra de los Siete Años en 1763, en la cual Francia perdió casi todas sus colonias americanas.

Las causas de los problemas con la producción de la pólvora eran múltiples: los costes estaban subestimados, por lo que la producción no era rentable desde el punto de vista económico, pero como el contrato con la compañía suministradora no la penalizaba por no cumplir los objetivos, tampoco había interés en mejorar el proceso. No obstante, la mayor limitación estaba en el suministro de uno de los ingredientes: el salitre (KNO_3); respecto a los otros dos, el azufre y el carbón, no había problemas de suministro. El ejército francés era rehén de los productores de salitre, los cuales, conocedores de ello, cobraban precios abusivos y no cumplían los contratos en cuanto a las cantidades a suministrar.

Para remediar esta situación, Turgot creó la Comisión de la Pólvora, que debía supervisar todo el proceso, y a su frente puso a cuatro comisionados, entre ellos a Lavoisier. Los comisionados se encontraron con una tarea ardua. De entrada, tuvieron que aportar cuatro millones de libras para hacer efectiva la indemnización por la cancelación del contrato con la compañía que hasta entonces se había encargado del suministro. Los objetivos del trabajo de los comisionados, además de mejorar la calidad y la cantidad de la pólvora, era obtener beneficios para el Tesoro con el monopolio de la fabricación y la venta de la misma. Otro de sus objetivos era liberar al país de la servidumbre de los productores de salitre. Por todos sus desvelos los comisionados recibirían un sueldo de 2 400 libras anuales más gastos. El trabajo de la Comisión de la Pól-

vora fue extraordinariamente eficiente y, en menos de dos años, la mitad del adelanto que los comisionados habían tenido que pagar a la antigua compañía encargada de la fabricación de la pólvora había sido reembolsado.

No obstante, seguía habiendo déficit en la producción de salitre, sustancia que mayoritariamente procedía de los residuos de los establos. Como ya habían hecho los gobiernos de otros países, Lavoisier dispuso la búsqueda en las minas, así como un procesado más eficiente de los residuos de los establos. La Academia nombró una comisión para la supervisión del proceso a escala nacional, siendo Lavoisier uno de sus miembros. También en este campo obtuvo mejoras sustanciales, y Francia pasó de tener déficit de pólvora a tener superávit.

La muerte de su padre de un ataque al corazón, que tuvo lugar en septiembre de 1775 en su finca de Le Bourget, le causó gran tristeza, sobre todo porque no pudo estar a su lado en sus últimos momentos. Según escribió entonces, había perdido a su mejor amigo. Pero no pudo detenerse a llorarlo, el trabajo lo apremiaba.

Su nombramiento como miembro de la Comisión de la Pólvora introdujo otro cambio de gran calado en su vida: se trasladó a vivir a su lugar de trabajo, el Arsenal, en una de cuyas dependencias montó un laboratorio al que dotó con los mejores aparatos de medida para cuantificar la nueva ciencia. Muchos de estos dispositivos fueron diseñados por él y todos fueron adquiridos a cargo de su fortuna personal.

Habían pasado cuatro años desde que Marie y Antoine se habían casado. A falta de hijos y con la tía Constance ocupándose de todo lo relativo a los asuntos domésticos, Marie podía dedicar mucho tiempo a ayudar a su marido. Era una presencia asidua en el laboratorio y tomaba parte en los debates químicos que allí tenían lugar. Para poder participar en tales discusiones con conocimiento de causa, sus clases de inglés y de dibujo se completaron con lecciones de química, que inicialmente fueron impartidas por Antoine; luego realizó un aprendizaje más formal asistiendo a academias y recibiendo clases de Bacquer, joven colaborador de Lavoisier.

El laboratorio del Arsenal se convirtió así en un centro de investigación y tertulia, que fue visitado por las personalidades

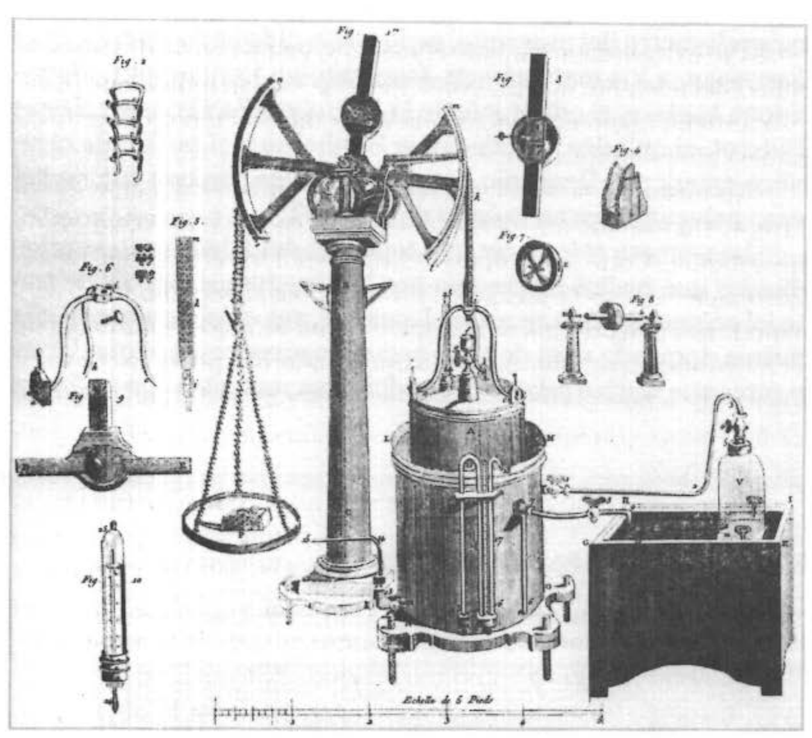


FOTO SUPERIOR:
Grabado perteneciente al *Tratado elemental de química* de Lavoisier dedicado a los aparatos empleados en la medición de gases; el central es un gasómetro.

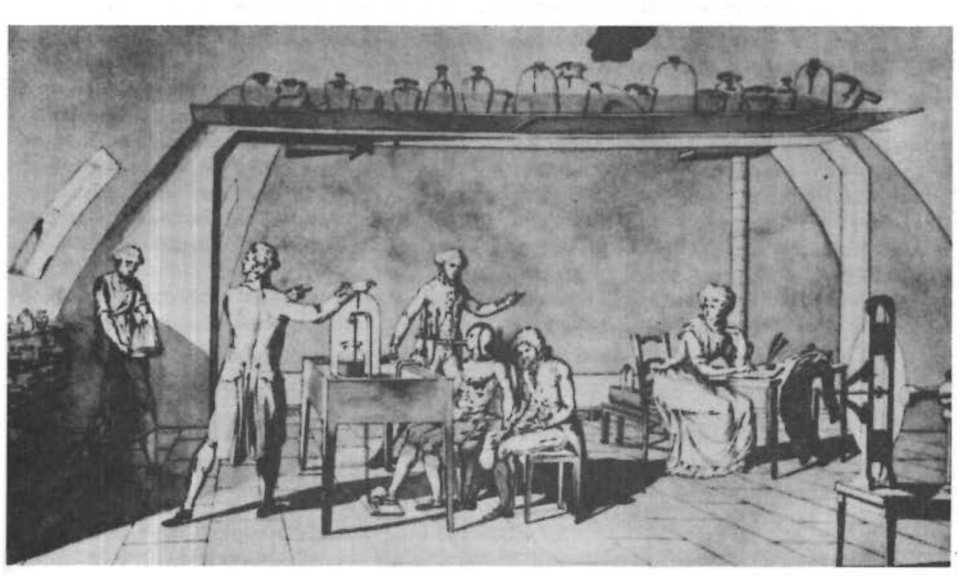


FOTO INFERIOR:
El laboratorio del Arsenal, según el dibujo de Marie. Antoine, de espaldas, hace de maestro de ceremonias; Marie sentada en una mesa a la derecha toma nota del experimento; un colaborador de Lavoisier, posiblemente Armand Séguin, sopla por un tubo para que se pueda recoger el gas que exhala de sus pulmones.

más relevantes del momento, incluyendo al filósofo Jean-Jacques Rousseau, a los matemáticos Jean-Antoine Condorcet y Pierre-Simon Laplace, al editor jefe de la *Enciclopedia Francesa*, Denis Diderot, al químico Claude-Louis Berthollet y al político y científico americano Benjamin Franklin, la única persona que no llevaba peluca blanca en la corte de Luis XVI.

La primera referencia que tenemos del laboratorio son los dibujos que realizó Marie, que nos lo muestran en un día de trabajo; en uno de ellos aparecen Lavoisier, sus colaboradores y ella misma, tomando nota de todo como amanuense y notaria. Otras referencias son los relatos de los distintos visitantes que de forma

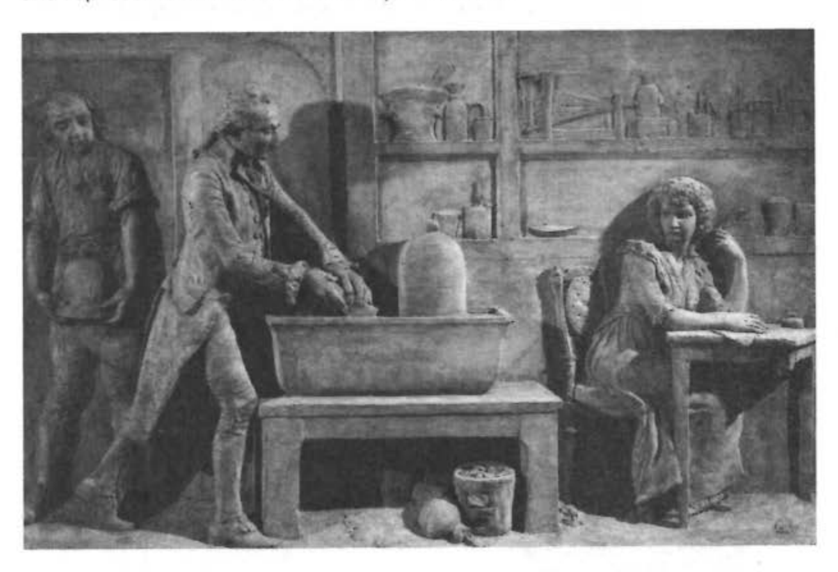
LA ENCANTADORA MARIE PAULZE LAVOISIER

Marie Paulze no renunció a su nombre de soltera tras casarse con Lavoisier, cosa muy rara en Francia incluso hoy en día; luego, una vez viuda, no renunció al de Lavoisier, ni siquiera mientras estuvo casada con Benjamin Thompson, conde de Rumford. En la mejor tradición de las *salonnières* de la Ilustración, tras casarse con Antoine, Marie debió de llegar pronto a la conclusión de que si quería ver a su marido no tenía más remedio que buscarlo en el laboratorio. Miembro activo de la Academia de Ciencias y de la Ferme Générale, sus jornadas de trabajo estaban llenas de reuniones de trabajo y elaboración de informes. Pero había unas horas sagradas: de 6 a 9 de la mañana y de 7 a 10 de la noche, Antoine trabajaba a diario en el laboratorio. Asimismo, cada semana dedicaba un día completo al trabajo de laboratorio. Marie decidió encontrarlo ahí, y fue su más fiel ayudante, además de la anfitriona perfecta, siendo capaz de atender a sus invitados en un inglés fluido. Muchos de ellos quedaron gratamente sorprendidos al ver que una anfitriona tan encantadora dominaba saberes tan poco femeninos como la teoría del flogisto. Ello no era extraño, dado que Marie tradujo del inglés el *Ensayo sobre el flogisto* de Richard Kirwan, añadiendo sus propios comentarios. Asimismo, fue la intérprete en la abundante correspondencia que mantuvo su marido con el científico irlandés. Pero sin duda el científico que admiraba más decididamente a Marie era Benjamin Franklin, a quien ella hizo un retrato que el americano tuvo en gran estima. Cuando las autoridades de la metrópoli le confiscaron este retrato —Gran Bretaña estaba en guerra con las colonias y Franklin era un personaje de peso en el gobierno de los sublevados— el científico americano decía sentirse como viudo, al haber sido privado de una compañía tan querida.

asidua o esporádica habían acudido a lo que llegó a ser uno de los mejores laboratorios de química de Europa, lo que entonces significaba del mundo. En las tertulias, la conversación versaba sobre filosofía, arte, música, teatro o política, pero, obviamente, el tema estrella era la ciencia. No en vano Lavoisier estaba montando el laboratorio en el que se podían hacer las medidas más precisas de todas las cantidades medibles, siendo la masa la primera de ellas.

Las balanzas de Lavoisier eran sus dispositivos más apreciados, porque a partir de ellos sentaría las bases de la nueva ciencia. Asimismo, el laboratorio del Arsenal contaba con aparatos de vidrio y metal, hornos y otros sistemas de calentamiento, que permi-

Pero las habilidades artísticas de Marie llegaron aún más lejos: representó el papel de suma sacerdotisa que sacrificó el flogisto en el altar de la ciencia en una representación cómica ideada por Antoine.

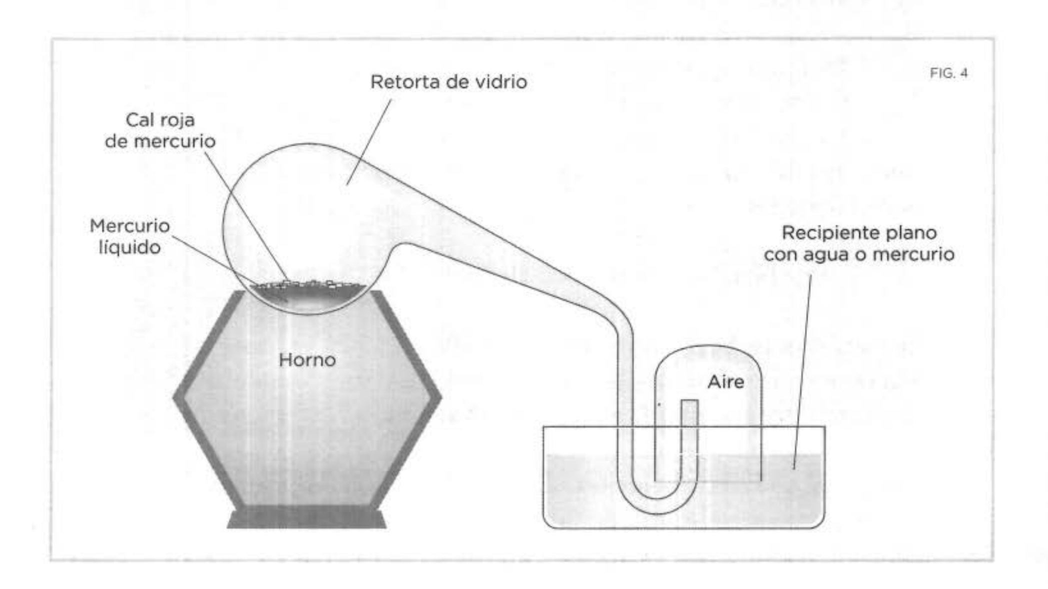


Marie, Antoine y un ayudante en un relieve del siglo XIX, obra de Louis-Ernest Barrias (Museo de Bellas Artes, Grenoble).

tían realizar todos los *procesos de arte*, incluyendo destilaciones, oxidaciones, descomposiciones y recombinaciones que hubieran sido descritas por otros científicos. Estos procesos podían implicar cuerpos sólidos, líquidos o «aires», los cuales eran medidos con ayuda del gasómetro. Los instrumentos más importantes que se usaron en el laboratorio del Arsenal fueron dibujados a escala por Marie en unas láminas incluidas en la obra magna de Lavoisier, el *Tratado elemental de química*. Para incluirlos todos habría hecho falta una enciclopedia y muchos dibujantes, pues al serle confiscados se contaron más de 13000 aparatos.

EL EXPERIMENTO DE LAVOISIER

Como ya había sucedido con sus compromisos anteriores, las responsabilidades de Lavoisier como miembro de la Comisión de la Pólvora no lo alejaron de sus estudios de química, especialmente cuando por fin pudo disponer de un fantástico laboratorio. Así, durante los años 1776 y 1777 siguió haciendo experimentos



encaminados a esclarecer la naturaleza de la combustión, para lo cual repitió numerosas veces el proceso de obtención de oxígeno a partir de la cal roja de mercurio. Había obtenido la cal calentando el mercurio con el dispositivo incluido en el esquema de la figura 4 (una retorta de vidrio situada sobre un horno convencional conteniendo mercurio, cuya parte final está doblada para llegar a la parte superior de una campana llena de aire), en el experimento más famoso de la historia de la química, descrito posteriormente con todo detalle en su *Tratado elemental de química* (1789). En esta descripción, que figura en el anexo, puede apreciarse la claridad de la exposición y la abundancia de detalles, información imprescindible para que cualquier científico interesado pudiera reproducir el experimento. Sus resultados pueden resumirse esquemáticamente del siguiente modo:

Mercurio + aire eminentemente respirable =
= cal roja de mercurio.
Cal roja de mercurio – la misma cantidad de aire respirable =
= mercurio.

Hoy escribiríamos la reacción como sigue:

Mercurio + oxígeno = óxido de mercurio.
Óxido de mercurio = mercurio + oxígeno.

O bien, usando la notación desarrollada a partir de las propuestas de Lavoisier:

$$Hg\ (\text{líquido}) + O_2\ (\text{gas}) \rightleftarrows HgO\ (\text{sólido}).$$

Adicionalmente, Lavoisier explicó que la atmósfera, entonces conocida como «aire común», estaba formada por aire eminentemente respirable y por una fracción no apta para la respiración, que hoy llamamos nitrógeno.

En abril de 1777 Lavoisier remitió a la Academia la primera versión completa de su teoría de la combustión. Ese mismo año presentó otras ocho comunicaciones, en las que describía el pro-

ceso de formación de una cal y de su reducción para formar el metal. La cal de mercurio era el ejemplo más simple para mostrar las reacciones que tenían lugar durante la oxidación del metal y la reducción de la cal (lo que correspondería a la pérdida y ganancia de flogisto), puesto que no requería carbón. Pero el denominado «aire eminentemente respirable» estaba presente en todas las «cales» (lo que hoy conocemos como óxidos) que habían sido investigadas en esa época, la mayoría de las cuales requería carbón (fuente de flogisto) para reducirse y volver a formar metal. Estos trabajos fueron el principio del fin del flogisto.

«Solo debemos confiar en los hechos. Estos nos son presentados por la naturaleza, y no pueden engañar. En cada caso debemos someter nuestro razonamiento a la prueba del experimento, y siempre buscar la verdad por la vía natural de la experimentación y la observación.»

— Antoine Lavoisier.

En 1778 Lavoisier tuvo que hacer varios viajes para supervisar el funcionamiento de las fábricas de pólvora y las fuentes de salitre. Durante los mismos vio varias fincas y en una de ellas, situada en Fréchines, cerca de Blois, decidió realizar su experimento más ambicioso: el estudio de la mejora de la ganadería y la agricultura por aplicación del método científico.

Dada su nueva ocupación, en 1778, año en el que compró la finca de Fréchines, solo presentó una comunicación a la Academia en relación con sus trabajos sobre la combustión: la descripción de la composición del «aire fijo» descubierto por Black décadas antes e identificado por Priestley y otros. Como había concluido de forma irrefutable que las cales (MO) estaban formadas por metal (M) y aire respirable (O), y al calentarlas con carbón (C) daban lugar al metal y al «aire fijo», este tenía que estar compuesto por el aire respirable y carbón. Dicho de una forma más concisa:

$$MO\,(s) + C\,(s) \rightleftarrows M\,(s) + CO_2\,(g).$$

EL OXÍGENO

En noviembre de 1779 el genio creativo de Lavoisier tomó la forma de lingüista: creó una nueva palabra. Tras revisar los resultados de sus experimentos, observó que el nuevo aire estaba presente en todos los espíritus generadores de ácidos: en el del azufre, fósforo, carbón, nitrógeno. Decidió entonces crear una palabra para este aire que hiciera mención a su capacidad de generar ácidos. Así, ideó el nombre de «oxígeno» a partir de dos vocablos griegos, ὀξύς («ácido») y –γενής (–«productor»), por lo que el nuevo vocablo significaba «generador de ácido».

A diferencia de Priestley y Scheele (que lo había empleado para obtener cloro), Lavoisier no había trabajado con el «ácido muriático», también conocido como espíritu de sal, ácido marino y ácido de sal o HCl en la nomenclatura de Lavoisier. Por ello cometió un error al elegir un nombre para el aire puro, porque el HCl ponía de manifiesto lo erróneo de su idea de que hacía falta oxígeno para generar un ácido. Pero ese error resultó irrelevante; pronto el vocablo «oxígeno» tuvo su versión en todos los idiomas en los que hablaba la ciencia. A partir de ese momento no solo la química, sino la propia vida ya no se pudo entender sin oxígeno.

Hay diversos usos recientes de la palabra que ponen de manifiesto su capacidad de evocación. Uno de ellos es la obra de teatro *Oxygen* (2001), de los químicos Carl Djerassi y Roald Hoffmann, en la que se recrea la controversia por el descubrimiento del elemento, atribuible a Priestley, Lavoisier y Scheele.

Poco después de la atrevida propuesta de la palabra «oxígeno», que con el tiempo demostró ser genial, tuvo lugar otro hecho triste en la vida de Antoine. En 1781 falleció su tía Constance Punctis, que durante años, desde la muerte de su madre, había cuidado de él. De la pena que este hecho le causó dio cuenta Lavoisier en una carta que escribió a Benjamin Franklin:

> La excusa para mi retraso es de tal naturaleza que estoy seguro de que merecerá su indulgencia. He tenido la desgracia de perder a mi tía, que había sido una segunda madre para mí, y a la cual estaba

tiernamente unido. Este triste hecho me ha absorbido completamente y ha hecho que desatendiera muchas de mis tareas.

Este es uno de los raros momentos en la abundantísima documentación de Lavoisier en los que el científico habla de sus sentimientos.

Pero al igual que había sucedido con la muerte de su padre, Antoine tampoco entonces pudo detenerse a llorar la pérdida de su tía. Aunque las bases de la nueva teoría de la combustión estaban sentadas, tenía que ser aceptada por el resto de los científicos. De eso también se encargaría Lavoisier, pero no realizando experimentos en el laboratorio, sino con sus escritos y con el foro que le proporcionaba su pertenencia a la Academia. Así, en 1783 remitió a la Academia la obra *Reflexiones sobre el flogisto* (que fue publicada al año siguiente), la cual es un resumen de todas sus investigaciones sobre la combustión y está precedida de una revisión histórica de los trabajos realizados anteriormente por otros científicos. Esto era lo que él definía como su tarea de historiador, en la cual, como en todo lo que hacía, era muy minucioso, intentando dar cuenta de todo en su justa medida, contando los experimentos que se habían hecho y las hipótesis empleadas para explicarlas, pudiendo él mismo estar de acuerdo o no, tal y como indicaba de forma respetuosa. Solo alguna vez se permitió una ligera ironía:

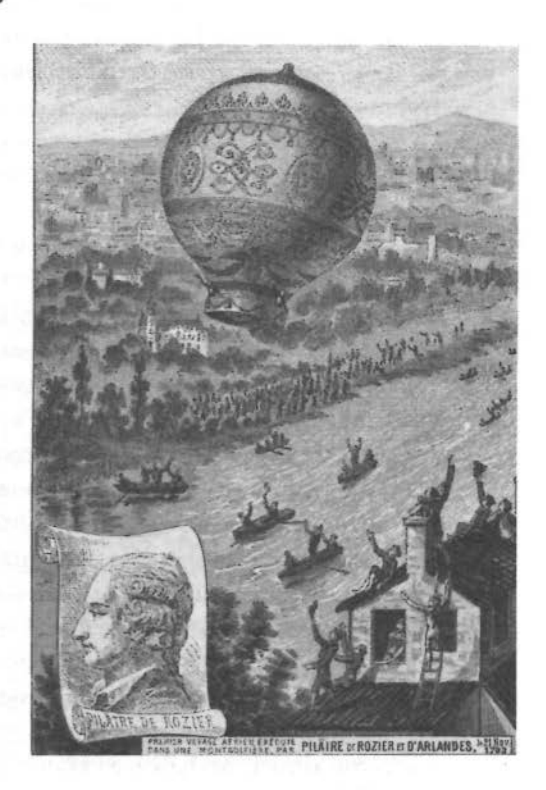
> Algunos químicos han convertido el flogisto en un principio vago que se adapta convenientemente a todas las funciones para las que es requerido. A veces el principio tiene peso, a veces no, a veces es fuego, a veces es fuego combinado con tierra, a veces pasa a través de los poros de los recipientes, a veces estos son impermeables al mismo. Es un verdadero Proteo que cambia su forma a cada instante.

Finalmente, Lavoisier ponía de manifiesto el objetivo de la obra:

> Todos los hechos en relación con la combustión y con la calcinación se explican de forma mucho más fácil sin el flogisto que con él. No espero que mis ideas se adopten inmediatamente; la mente humana se inclina hacia una forma de razonamiento y los que han mirado a

GLOBOS AEROSTÁTICOS

Las comisiones en las que Lavoisier participó como miembro de la Academia de Ciencias se cuentan por centenares y en ellas el científico abordó todo tipo de temas. Así, por ejemplo, a finales de 1783 estudió el globo aerostático de los hermanos Montgolfier, que estos habían construido con una gran bolsa de tela que se elevaba por los aires al rellenarla de aire caliente, menos denso que el aire frío. El primer vuelo no iba tripulado; el segundo, en el que viajaron una oveja, un gallo y un pato, tuvo lugar en la corte de Versalles ante una muchedumbre de cientos de miles de personas, incluyendo al rey Luis XVI y la reina María Antonieta. Pero el vuelo más importante tuvo lugar poco después, cuando Jean-François Pilâtre de Rozier y François Laurent d'Arlandes llevaron a cabo el primer vuelo con tripulación humana el 21 de noviembre de 1783.



Recreación del primer vuelo con tripulación humana, emprendido el 21 de noviembre de 1783 por François Laurent d'Arlandes y Jean-François Pilâtre de Rozier, cuyo retrato aparece en el extremo inferior izquierdo del cartel.

La comisión de la Academia redactó un informe en diciembre en el que se hacían recomendaciones sobre el diseño del globo y el material empleado para construirlo, así como sobre el gas de relleno —que podía ser hidrógeno, ya que era mucho más ligero que el aire y no necesitaba calentamiento— y el diseño de la cesta de pasajeros. Pilâtre de Rozier hizo unos cuantos viajes más, en los que recorrió distancias cada vez más largas y alcanzó mayores alturas. Terminó muriendo cuando intentaba cruzar el canal de la Mancha en junio de 1785, siendo la primera víctima de un accidente aeronáutico.

la naturaleza desde un cierto punto de vista durante parte de sus vidas, adoptan nuevas ideas solo con dificultad; llevará tiempo aceptar o rechazar las ideas que yo propongo. Mientras tanto veo con satisfacción que los jóvenes que empiezan a estudiar la ciencia sin perjuicios, así como los geómetras y los físicos, que examinan los hechos químicos con mentes frescas, no creen en el flogisto.

EL AGUA

A pesar de que con esta publicación Lavoisier parecía haber aclarado definitivamente lo que sucedía en los experimentos de combustión, había una reacción que no terminaba de entender. Nadie sabía qué pasaba cuando el «aire inflamable» (H_2) ardía en aire común ($O_2 + N_2$) o incluso en oxígeno (O_2). Parecía desaparecer sin dejar rastro. Los maestros ingleses de los aires, Priestley primero y Cavendish después, habían conseguido hacerlo arder y ambos habían observado que aparecían unas diminutas gotas de rocío tras la combustión, pero los gases desaparecían y en su lugar no surgía ningún otro gas. Cuando Priestley hizo saltar la chispa que daba lugar a la combustión comprobó que la proporción en la que se combinaban ambos gases era de 2:1, pero como lo que intentaba averiguar con el experimento era si el fuego tenía masa, no prestó atención al rocío. Cavendish sí tuvo curiosidad por saber qué era el rocío. No pudo resistir la tentación y lo probó, cosa usual en los laboratorios de la época, que no contaban con las modernas técnicas de análisis químico de hoy día. Así, por ejemplo, Scheele probó el ácido cianhídrico cuando lo sintetizó por primera vez. Cavendish llegó a la conclusión de que el «rocío» era algo menos peligroso que el HCN: era agua.

Cavendish dio una explicación rocambolesca a los hechos que observó: dijo que el «aire inflamable» (H_2) era flogisto unido al agua y que el llamado por Priestley «aire deflogisticado» (O_2) era en realidad agua privada de su flogisto. Cuando se hacía saltar una chispa en un recipiente que los contenía a ambos, el primero soltaba su flogisto, que era tomado por el segundo, y aparecía el

CAVENDISH, EL HOMBRE MÁS RICO DE INGLATERRA



Henry Cavendish (1731-1810) compartió con Lavoisier su pasión por entender el mundo que le rodeaba. Pero en marcado contraste con el investigador francés, al que todo le cautivaba e intentaba mejorar lo que estaba a su alcance, a Cavendish solo le interesaban algunos científicos de la Royal Society y la Royal Institution; a las mujeres no podía ni verlas, literalmente. Aún estaba menos interesado en la fama o en pasar a la posteridad. En cambio, sí tenía interés en conocer cosas como la densidad de la Tierra y la del aire, las fuerzas que hacían que se atrajeran sustancias de cargas eléctricas opuestas, o la composición de la atmósfera, de la que intuyó que estaba formada por varios «cuerpos elásticos». Para obtener toda esa información hizo infinitas mediciones que resultaron extraordinariamente precisas con los aparatos que él mismo diseñó. Como no tenía que ocuparse de ganarse la vida —era el hombre más rico de Inglaterra tras heredar una fortuna de más de un millón de libras, a pesar de lo cual tenía el aspecto de un mendigo—, pudo dedicar todo su tiempo a la ciencia. No tuvo ninguna prisa en publicar; de hecho, solo una pequeña parte de sus experimentos vieron la luz mientras él vivía. Otros resultados extraordinariamente relevantes en campos tan dispares como el magnetismo, la mecánica, la óptica o la química se encontraron mucho después, al examinar sus notas de laboratorio.

Empezando por la química

Los primeros trabajos que publicó fueron de química, en concreto, de lo que él llamó gases «factotius», es decir, los gases que podían ser liberados de cuerpos sólidos. Uno de ellos lo obtuvo al hacer actuar un ácido sobre un metal; lo llamó «aire inflamable» por motivos obvios y Lavoisier lo rebautizaría como «hidrógeno». Se interesó por uno de los «cuerpos» que también atrajeron la atención de Lavoisier: el agua. Cavendish fue el primero en descubrir que no era un cuerpo simple y en identificar correctamente sus componentes, aunque los nombró de una forma extraña. Más adelante se dedicó a estudiar los procesos de transferencia de calor y enunció el principio de conservación del calor, que no se aleja mucho del que hoy llamamos de conservación de la energía. Murió mucho después que Lavoisier, en 1810, y de una forma muy diferente: en su propia cama y en la soledad más absoluta.

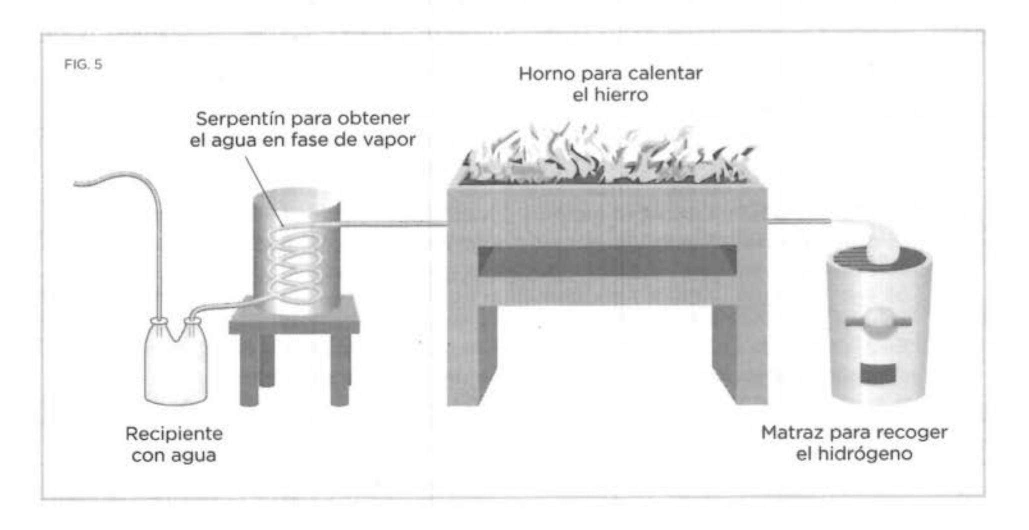
agua que había en ambos gases. No se le ocurrió la hipótesis más evidente, que ambos aires, se llamaran como se llamaran, reaccionaban produciendo un nuevo compuesto líquido.

Lavoisier supo de los resultados de los experimentos de Cavendish por su asistente Blagden, que se encontraba en París en junio 1783. A diferencia de los británicos, Lavoisier sí entendió lo que había pasado: se había formado agua como consecuencia de la reacción de los dos gases.

$$H_2\,(\text{gas}) + \tfrac{1}{2}\,O_2\,(\text{gas}) \rightarrow H_2O\ (\text{líquido}).$$

También se dio cuenta de la relevancia de unos resultados que echaban por tierra uno de los pilares de la alquimia, el que consideraba el agua como uno de los cuatro elementos esenciales. El agua no era un cuerpo simple, sino compuesto. Por ello repitió inmediatamente los experimentos y en menos de un mes Lavoisier mandó una nota a la Academia dando cuenta de los resultados de obtención de agua por combustión del «aire inflamable». En ella el coautor era Laplace, pero no citaba a Priestley, ni tampoco a Cavendish, de cuyos resultados había tenido conocimiento por Blagden. Este último montó en cólera y atacó violentamente a Lavoisier acusándolo de apropiación indebida de resultados ajenos,

Dispositivo empleado en la obtención de H_2 haciendo pasar agua sobre hierro al rojo.



dando lugar a un cisma en los químicos europeos, que se alinearon en el bando de uno y otro científico.

La controversia se apagó con el tiempo, pero el nombre de Lavoisier quedó manchado por el estigma de la deshonestidad. La verdad es que ni Cavendish ni Priestley entendían lo que habían hecho, pero el caso es que lo hicieron primero y lo hicieron bien, hasta el punto de que Lavoisier no tuvo más que seguir sus pasos. Lo que resulta más difícil de entender es por qué Lavoisier no los mencionó en sus artículos. A pesar de que entonces las comunicaciones eran difíciles y tortuosas, el grupo de químicos que trabajaban con los «aires» era muy reducido, por lo que antes o después todos terminaban sabiendo lo que habían hecho y publicado los demás. A pesar de la omisión de Lavoisier, el mérito por el experimento del agua se otorga a Cavendish, pero es Lavoisier quien está considerado como el padre de la química.

Lavoisier siguió investigando el proceso y para cerciorarse de que habían sintetizado agua, intentó hacer el proceso inverso: descomponerla. Lo llevó a cabo de una forma muy ingeniosa, ya que hizo pasar vapor de agua por encima de un horno que contenía hierro que había sido calentado al rojo, utilizando el dispositivo que muestra esquemáticamente la figura 5. Supuso que si el agua tenía oxígeno, este sería atrapado por el hierro para formar su cal. El proceso es más complejo de lo que Lavoisier había imaginado, porque en el agua el oxígeno está en el mismo estado que en las cales, es decir, como anión ($O^{=}$), mientras que en el aire está como O_2^0 (los superíndices indican el número de electrones en exceso). Pero el caso es que funcionó, pues el hierro debió actuar como un catalizador que descomponía el agua en sus elementos componentes (H_2 y O_2) y a continuación reaccionaba con uno de ellos (O_2), produciendo Fe_2O_3, dejando libre el otro (H_2).

CAPÍTULO 3

Una ciencia nueva

«Nada se crea ni se destruye.»
Antoine Lavoisier había conseguido encerrar la química en una ecuación matemática. En 1789, el año de la Revolución francesa, se publicó su *Tratado elemental de química*, que marcó un punto de no retorno en esta ciencia. Luego explicó por qué la llama de la vida se encendía cuando el niño respiraba por primera vez: la respiración era una especie de combustión lenta. Sus investigaciones constituyen así los primeros estudios de fisiología y bioquímica.

La nueva teoría de Lavoisier acerca de la combustión se fue abriendo paso poco a poco. El matemático Pierre-Simon Laplace la apoyó desde el principio y el químico parisino Claude-Louis Berthollet hizo público su apoyo en una reunión que tuvo lugar en la Academia de Ciencias en abril de 1785. Pero el respaldo más importante vino del extranjero, en concreto de Edimburgo, donde Joseph Black la enseñaba en sus cursos de química desde mucho antes.

Un vez que se empezaban a racionalizar los principios de la nueva ciencia, surgía la necesidad de dotarla de un lenguaje sistemático, cosa de la que carecía. Hasta entonces, los cuerpos simples y compuestos que formaban el mundo material habían sido designados de forma caprichosa. Su nombre podía hacer mención al lugar donde se encontró la sustancia (sal de Epsom), a la persona que la descubrió (licor fumante de Livabius), a la asociación alquímica con algunos planetas (vitriolo de Venus) o al parecido con alguna otra sustancia de uso común (mantequilla de arsénico). Además, no era raro que una misma sustancia fuera llamada de diferente manera dependiendo del lugar. Ello era una de las nefastas herencias de la alquimia, en la que para no dar pistas sobre sus conocimientos a los no iniciados una misma sustancia tenía diversos sinónimos; así, por ejemplo, el mercurio era designado de diez modos diferentes.

Para intentar poner orden en este caos, a comienzos de la década de 1780, el químico Louis-Bernard Guyton de Morveau intentó sistematizar los nombres de los cuerpos simples y compuestos. El interés de Guyton de Morveau provenía de la demanda que le había hecho Denis Diderot para que escribiera el capítulo de la *Enciclopedia Francesa* dedicado a la química. El problema princi-

UN NUEVO LENGUAJE

En 1787 Lavoisier presentó en la Academia los principios generales sobre los cuales se había construido la nueva nomenclatura química:

> Las lenguas no intentan únicamente expresar ideas e imágenes mediante signos, sino que además son sistemas analíticos por medio de los cuales avanzamos de lo conocido a lo desconocido, y en cierta manera, de forma similar a los matemáticos. El álgebra es el método analítico por excelencia que ha sido diseñado para facilitar las operaciones de comprensión, para hacer el razonamiento más conciso y para condensar en unas pocas líneas lo que habría requerido muchas páginas de discusión; resumiendo, el álgebra se ha diseñado para llegar a un método más conveniente, rápido y certero de solucionar las cuestiones más complicadas. Pero si reflexionamos veremos que el álgebra es un lenguaje real que, como todos los lenguajes, tiene sus símbolos representativos, sus métodos, su gramática. Así pues, un método analítico es un lenguaje y un lenguaje es un método analítico, y estas dos expresiones son, en cierto sentido, sinónimas. Si el lenguaje es un instrumento diseñado por el hombre para facilitar su razonamiento, debe ser el mejor posible; luchar para perfeccionarlo es de hecho trabajar para el avance de la ciencia. Para aquellos que comienzan a estudiar la ciencia, el perfeccionamiento del lenguaje es de la mayor importancia. [...] Tenemos que distinguir tres cosas en todas las ciencias físicas: la serie de hechos que constituyen la ciencia, las ideas que surgen en nuestra mente a raíz de esos hechos y las palabras que las expresan. La palabra debe dar origen a la idea, y la idea debe dibujar el hecho; son tres caras del mismo sello, y como las palabras son las que transmiten, la ciencia nunca puede llegar a la perfección si el lenguaje no se ha perfeccionado primero. Por ello, por ciertos que sean los hechos y correctas las ideas, solo transmitirán falsas impresiones si no hay expresiones apropiadas para ellas. El perfeccionamiento de la nomenclatura química considerada desde este punto de vista consiste en expresar ideas y hechos de la forma más precisa posible, sin suprimir nada que presenten y sobre todo sin añadirles nada; no deben ser nada más que un espejo verdadero, porque no nos cansaremos de decir que no es la naturaleza, los hechos que la naturaleza nos presenta, sino nuestro propio razonamiento lo que nos decepciona.

pal con el que se encontró Guyton de Morveau fueron los «aires», porque muy pocos químicos franceses se habían ocupado de ellos; como no sabía cómo nombrarlos, pidió ayuda a Lavoisier, a Berthollet y al también químico Antoine-François de Fourcroy (1755-1809). En un principio, no existía un único criterio, puesto que Lavoisier y Berthollet eran anti-flogistas convencidos, mientras que Fourcroy y el propio Guyton de Morveau seguían anclados en la vieja teoría. Finalmente, estos últimos fueron convencidos por los dos primeros y a partir de este momento todos ellos trabajaron en equipo. Como fruto de su trabajo, hicieron una propuesta global y sistemática que nombraba los compuestos a partir de los elementos de los que estaban formados.

Lavoisier presentó en una sesión de la Academia en 1787 los principios generales sobre los cuales habían construido la nueva nomenclatura, basada en la aplicación del método científico que hasta entonces no había sido aplicado de forma sistemática al estudio de la química. Lavoisier afirmaba a este respecto:

> Como muchas de las expresiones usadas en química fueron introducidas por los alquimistas habría sido difícil para ellos transmitir a sus lectores lo que ellos mismos no tenían: las ideas correctas. Por otro lado, su objetivo no era siempre hacerse entender. Usaban un lenguaje enigmático que era peculiar de ellos, que con frecuencia tenía un significado para los adeptos y otro para los no iniciados, y que no era en absoluto ni inteligible ni exacto para unos ni para otros. Así pues, el aceite, el mercurio o el agua de estos filósofos no era aceite, agua o mercurio en el sentido en el que nosotros usamos esas palabras.

Lavosier aprovechó esta exposición para manifestar ante la Academia sus ideas sobre filosofía de la ciencia, tras haber realizado investigación experimental durante más de veinte años:

> Es el momento de que la química se libre de todo el lastre que pueda causar impedimento en su avance, de introducir en ella un verdadero espíritu de análisis, y esta reforma debe empezar por perfeccionar el lenguaje. Estamos sin duda muy lejos de conocer el conjunto y

todas las partes de esta ciencia; por ello una nueva nomenclatura, aunque se haga con sumo cuidado, no podrá ser perfecta, pero si se hace sobre principios sólidos, es decir, si es un método de nombrar más que una lista de nombres, se adaptará de forma natural a los descubrimientos futuros; indicará por anticipado el lugar y el nombre de las nuevas sustancias que puedan ser descubiertas, requiriendo solo pequeñas enmiendas en algunos detalles.

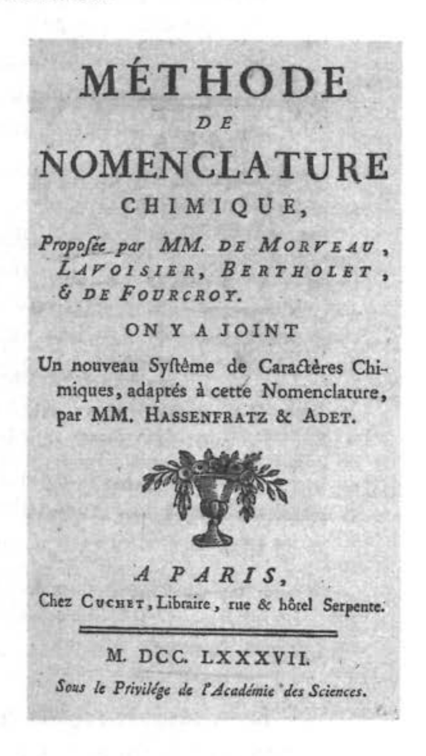
Una de las primeras cosas que hicieron los cuatro expertos fue retomar la definición de elemento que había dado Boyle en 1661 y que el propio Lavoisier no había aplicado: «Diremos que son simples las sustancias que no se pueden descomponer, lo que se obtiene en el último estadio del análisis químico». Con estas simples palabras se barrieron de la química los últimos jirones de la herencia medieval.

La nomenclatura recién creada contenía una serie de reglas sistemáticas basadas en las ideas de Lavoisier que implicaban abandonar la teoría del flogisto y consolidar las nuevas ideas de la composición química. Su punto de partida era justamente esta idea de la composición, en la que nada se creaba ni se destruía, no había transmutación de unas sustancias en otras (como la del agua en tierra), sino descomposición y recomposición; no había masas negativas.

Los cuatro expertos dejaron los nombres de los elementos tal y como habían sido empleados durante años. La primera clase de cuerpos simples incluía la luz, el calor y el hidrógeno, nombre propuesto por Lavoisier que indica «generador de agua». La segunda clase incluía los principios de los ácidos, tales como el azufre, el fósforo y el carbón —generadores de los ácidos sulfúricos, fosfórico y carbónico respectivamente—, y el ázoe (del griego α, «sin», y ζωη, «vida»). La tercera incluía los metales arsénico, antimonio, molibdeno, cinc, hierro, estaño, plomo, wolframio, manganeso, níquel, cobalto, bismuto, cobre, mercurio, plata y oro. Los metales eran cuerpos simples, y sus «cales», compuestos formados por el metal y el oxígeno. Esto era un cambio revolucionario, pues hasta entonces se suponía que los metales eran cuerpos compuestos que contenían flogisto. La cuarta clase estaba dedicada a las

EL «MÉTODO DE NOMENCLATURA QUÍMICA»

Las memorias que habían ido presentando Lavoisier, Berthollet, Guyton de Morveau y Fourcroy en la Academia de Ciencias, junto con una adenda del diplomático y científico Pierre-Auguste Adet (1767-1848) con los nuevos caracteres y símbolos, fueron editadas en un volumen titulado *Método de nomenclatura química*, publicado en París en 1787. La edición inglesa apareció al año siguiente, publicándose posteriormente traducciones en otros idiomas. A pesar de que de entrada la acogida en la Academia fue más bien fría, la nueva nomenclatura tuvo una aceptación bastante generalizada. Para dar una idea de lo adecuado de la propuesta de Lavoisier debe recordarse que el lenguaje que construyó hace más de doscientos años es el que sigue usándose hoy con pequeños matices y adendas. Lo cual es verdaderamente sorprendente teniendo en cuenta que el número de compuestos conocidos se ha multiplicado por cantidades millonarias.



MÉTHODE

DE

NOMENCLATURE

CHIMIQUE,

Propoſée par MM. DE MORVEAU, LAVOISIER, BERTHOLET, & DE FOURCROY.

ON Y A JOINT

Un nouveau Syſtême de Caractères Chimiques, adaptés à cette Nomenclature, par MM. HASSENFRATZ & ADET.

A PARIS,

Chez CUCHET, Libraire, rue & hôtel Serpente.

M. DCC. LXXXVII.

Sous le Privilége de l'Académie des Sciences.

«tierras»: sílice, alúmina, barita, magnesia y cal, y la quinta, a los «álcalis»: sosa, potasa y amoniaco.

La lista contenía 55 sustancias no descomponibles, que en principio podía asemejarse a una primera lista de elementos, aunque en realidad contenía sustancias que no eran tales. Así, la lista de elementos incluida en el *Tratado elemental de química* publicado por Lavoisier dos años más tarde era mucho menor.

La parte más revolucionaria de la obra correspondía a las sustancias compuestas, mucho más numerosas que los cuerpos simples, cuyos nombres cambiaron drásticamente. Los compuestos

tenían nombres binarios, basados en las raíces de los nombres de los elementos que los formaban. Se eliminaban los múltiples sinónimos empleados para nombrar una misma sustancia y se seguía un único criterio para designar las sustancias compuestas: la composición química. En los siglos siguientes este criterio resultó ser perfectamente válido para las sustancias que se fueron descubriendo.

De entrada, Lavoisier explicó que los compuestos formados por dos sustancias simples eran tan numerosos que requerían una clasificación. Por ejemplo, de los dos cuerpos simples que se suponía que formaban los ácidos, uno de ellos, el oxígeno, era común a todos, por lo que el nombre del ácido derivaba del otro elemento. Así, el ácido producido por combinación del azufre con oxígeno, llamado hasta entonces «vitriolo», fue renombrado «ácido sulfúrico». Para distinguirlo del otro ácido formado con azufre y menos oxígeno, a este último se le llamó «ácido sulfuroso». Sus sales se designaron «sulfatos» y «sulfitos», respectivamente. El ácido formado por combinación del oxígeno con carbón fue llamado «ácido carbónico», y sus sales, «carbonatos». Los ácidos del fósforo fueron llamados «fosfórico» y «fosforoso», y sus sales, «fosfatos» y «fosfitos». El llamado hasta entonces «ácido nitroso» pasó a llamarse «ácido nítrico», y se denominó «ácido nitroso» al que tenía menos oxígeno; las sales de ambos se denominaron «nitratos» y «nitritos».

De forma similar, las cales tenían un principio común y uno particular. Las cales metálicas debían tener un nombre general, «óxidos», y uno particular, que hacía referencia al metal del que provenían; «óxido de mercurio» en el caso de la cal roja. También tenían nombre binario las sales, que incluía el del ácido del que provenían y el del metal; por ejemplo, «sulfato de cobre».

Para facilitar el tránsito del antiguo sistema al nuevo, la nomenclatura tenía un diccionario en el que se incluía el nombre antiguo y el nuevo; así, por ejemplo, se explicaba que el «aire deflogisticado» era oxígeno, y el «aire flogisticado», hidrógeno.

Por último, Lavoisier pedía perdón por haber cambiado el idioma que los maestros habían inventado y honrado. Por un lado, argüía que muchos de ellos ya se habían pasado a la nueva lengua e incluso algunos habían pedido que no se tuviera piedad con la



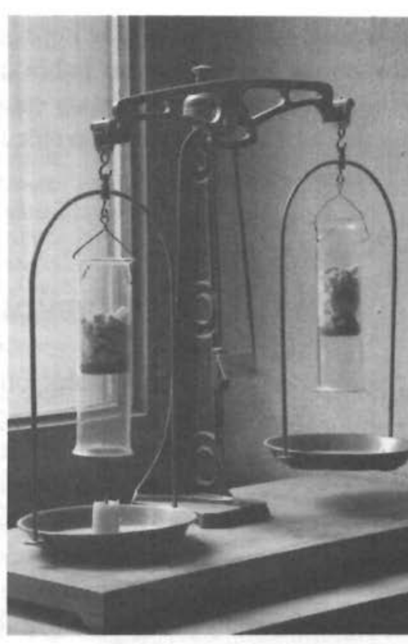
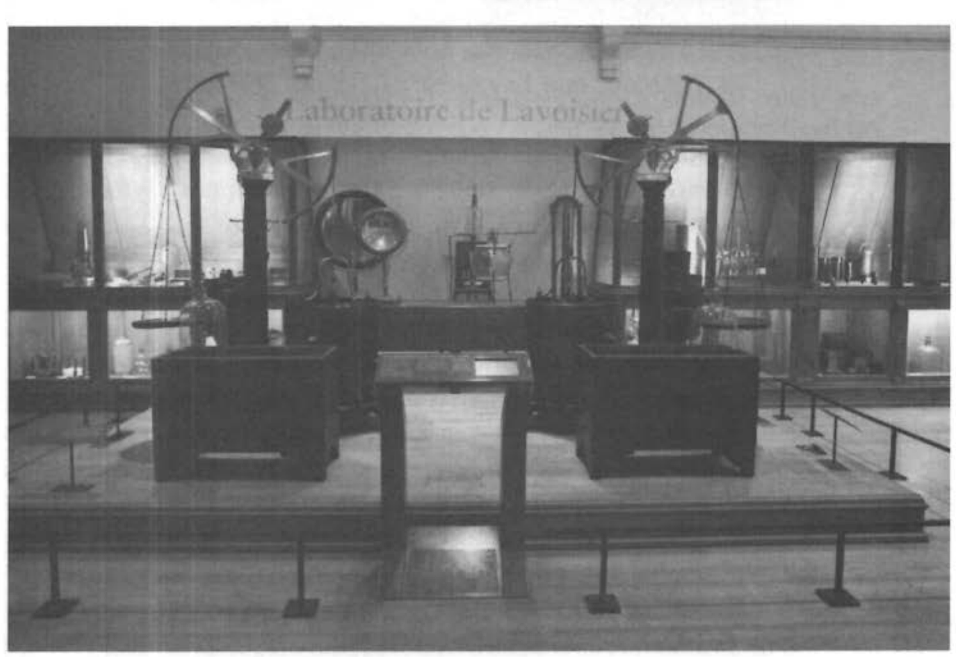


FOTO SUPERIOR IZQUIERDA:
Grabado dedicado a Lavoisier; fue realizado por Louis-Jean Desire Delaistre a partir de un dibujo de Julien-Léopold Boilly (1796-1874).

FOTO SUPERIOR DERECHA:
Balanza perteneciente a Lavoisier. El científico colaboró en la adopción del nuevo sistema de pesos y medidas.

FOTO INFERIOR:
Dispositivos elaborados por Lavoisier y exhibidos en el parisino Musée des Arts et Métiers. Destacan los dos grandes gasómetros, empleados para la síntesis del agua.



antigua nomenclatura por impropia. Estos maestros favorables al cambio decían que no había que preocuparse por el mismo, porque los que trabajaban en esta ciencia lo entenderían, y para los que aún no trabajaban en ella, la disciplina sería más asequible con los nuevos nombres.

1789: EL AÑO DE LAS REVOLUCIONES

Cuando se habla de la «revolución de 1789» todo el mundo piensa en la Revolución francesa, que representó el comienzo del fin del antiguo orden. Sin embargo, ese año tuvo lugar otra revolución de gran calado, aunque mucho menos ruido, que culminó con la publicación en París del *Tratado elemental de química* de Lavoisier. Esta revolución química había sido anticipada y bautizada por Lavoisier en la famosa anotación que hizo en su diario de laboratorio en 1773. En 1790 apareció la primera versión inglesa del *Tratado*, realizada por Robert Kerr, a la que seguirían poco después las versiones alemana, italiana, holandesa y española.

El *Tratado*, que Lavoisier pretendía que fuera un libro de texto para los estudiantes, presentaba una visión completa de la nueva química e incluía descripciones exhaustivas de experimentos y aparatos. Su texto sentó las bases de la nueva química, del mismo modo que los *Principia* de Newton habían sentado las bases de la nueva física un siglo antes. Según explicaba el autor en el *Prefacio*, su objetivo inicial era completar los resultados expuestos en sus memorias previas, pero conforme fue avanzando en la redacción se encontró con un tratado general de química. En el *Tratado*, como ya había mostrado en su *Nomenclatura*, el lenguaje de la ciencia y la ciencia en sí eran la misma cosa. De este modo, sus ideas sobre la filosofía de la ciencia expuestas en la *Nomenclatura* volvieron a aparecer en su nueva obra, enfatizando los conceptos fundamentales, tales como la importancia de los experimentos sobre todo lo demás.

El concepto de los «cuatro elementos», al haber sido formulado como una mera hipótesis cuando no se tenía ningún conoci-

LOS ESPOSOS LAVOISIER



Un año antes de que estallara la Revolución, Jacques-Louis David —que como Lavoisier había estudiado en el Collège Mazarin— pintó un cuadro que con el tiempo se ha convertido en el más fiel testigo de otra revolución, la química. Se trata del retrato de los esposos Lavoisier cuando ambos trabajaban en el laboratorio del Arsenal y Antoine estaba a punto de publicar su *Tratado elemental*. Lavoisier pagó por el lienzo una cantidad extraordinaria, 7000 libras, el sueldo de varios años de muchos profesionales de la época. La obra muestra a la pareja en todo su poderío, tanto físico como intelectual y económico, y es la única imagen fidedigna que se conserva del científico. A pesar del protagonismo indiscutible de Antoine, es Marie la que ocupa el centro de la imagen y mira directamente al espectador. Sobre la mesa y en el suelo se pueden ver los preciosos aparatos de vidrio y metal usados en sus experimentos. La historia que se cuenta en el cuadro es reflejo o quizá complemento del aprendizaje de Marie con David, del cual surgieron los precisos grabados que ilustraron el *Tratado*, cuyos esbozos podrían estar guardados en la gran carpeta de la izquierda.

miento de los principios de la ciencia experimental, fue el primero en ser descartado. Consciente de las limitaciones de sus conocimientos, Lavoisier puntualizó el significado de la nueva definición de elemento:

> Me limitaré a decir que si por el término elemento queremos decir las moléculas simples e individuales que componen los cuerpos es posible que no sepamos nada sobre ellas; pero si, al contrario, cuan-

do hablamos de elementos nos referimos a los principios de los cuerpos, al último punto alcanzado por el análisis, todas las sustancias que no hemos sido capaces de descomponer por ningún medio son elementos para nosotros. Ello no quiere decir que esos cuerpos que consideramos «simples» no estén compuestos a su vez por dos o incluso más principios, pero como esos principios no están separados, o más bien, como no tenemos forma de separarlos, para nosotros son sustancias simples, y no debemos suponer que son sustancias compuestas hasta que el experimento y la observación nos demuestren que lo son.

«Me impuse a mí mismo la obligación de no avanzar más que a partir de lo conocido hacia lo desconocido, no extrayendo más conclusiones que las que se deducían de los experimentos.»

— ANTOINE LAVOISIER, PREFACIO DEL *TRATADO ELEMENTAL DE QUÍMICA*.

Leyendo estas observaciones es difícil sustraerse a la tentación de dar un salto hacia delante en el tiempo y desplazarse al París de finales del siglo XIX, cuando Marie Curie encontró las primeras evidencias de que los «elementos» definidos por Lavoisier estaban compuestos por varios principios, o al Mánchester de principios del siglo XX, cuando Ernest Rutherford descubrió el núcleo atómico confirmando la intuición de Lavoisier. Pero a finales del siglo XVIII, cuando nada permitía anticipar estos descubrimientos que revolucionarían la ciencia, Lavoisier se sometía a la disciplina autoimpuesta de no extraer más conclusiones que las que se deducían de los experimentos. No obstante, dejaba constancia de que su mente no estaba cerrada a otras hipótesis más aventuradas. Lavoisier había conocido de cerca las trampas de la elucubración sin base de la alquimia como para volver a caer en ellas.

El *Tratado* constaba de tres partes. La primera estaba dedicada a exponer el nuevo sistema de la química diseñado por Lavoisier. El científico recogía sus teorías sobre el calor y la naturaleza de los fluidos aeriformes, o fluidos elásticos, que Lavoisier denominó como «gases», retomando el término que Van Helmont había propuesto un siglo antes y Macquer había intentado reintroducir.

Como se ha indicado anteriormente, Lavoisier relacionaba este término no con el vocablo de raíz griega «caos», sino con el de raíz sajona *ghost*, que significa «fantasma» o «espectro». Según Lavoisier, un gas estaba formado por «calórico», la base del calor, y por la base material del gas. La luz y el calor, cuya emisión o absorción acompaña a todas las reacciones químicas, eran producidos en la combustión de los cuerpos por la pérdida de esta sustancia material denominada «calórico». Resulta curioso que después de haber luchado tanto para desterrar el flogisto, Lavoisier cayera de bruces en la trampa del «calórico», que guardaba tantas semejanzas con aquel.

El primer fluido elástico del que se ocupaba era la atmósfera, entonces conocida como «aire común». Como se ha señalado en el capítulo anterior, Lavoisier explicaba que estaba compuesto por dos gases, uno respirable y otro no. En este punto describía minuciosamente el experimento más famoso de la historia de la química: el del calentamiento del mercurio durante doce días, tal y como había sido presentado en la Academia de Ciencias el 3 de mayo de 1777. En el *Tratado* lo ilustraba por primera vez con uno de los dibujos realizados por Marie, que incluía todos los detalles que permitirían reproducirlo a los científicos que estuvieran interesados en ello. Según explicaba Lavoisier, con este experimento la composición del aire quedaba demostrada tanto mediante análisis como mediante síntesis. De nuevo explicaba que el gas respirable era «oxígeno», mientras que el no respirable era «ázoe».

La primera parte también recogía los resultados cuantitativos de la combustión del fósforo, pero del azufre solo se hablaba de los productos formados, no de las proporciones de sus componentes. Los resultados que Lavoisier había obtenido no le debieron parecer suficientemente precisos, aunque, de hecho, lo eran. Los datos recogidos en su cuaderno de laboratorio de los experimentos realizados en mayo de 1785 muestran que 38,98 granos de aire vital se combinaban con 61 de azufre. En el trióxido de azufre esa proporción es de 40 a 60.

La segunda parte del *Tratado* estaba dedicada a los ácidos, las bases y la formación de sales a partir de los mismos. En ella

LOS «ASSIGNATS» Y LA REVOLUCIÓN

La economía tuvo un papel protagonista en la Revolución francesa. El papel moneda que con cargo a los bienes confiscados a la Iglesia se imprimió para remediar la inflación (los denominados *assignats* o «asignados») es la prueba. Lavoisier, que también tuvo una faceta como economista, advirtió de los peligros que podían acarrear los *assignats*; no le hicieron caso y fue el mensajero que paga con su vida al ser portador de malas noticias. La Revolución francesa empezó con una crisis económica que llevó a Luis XVI a convocar a los Estados Generales con el fin de que se le proporcionara más dinero. La Asamblea no se avino a los deseos del monarca, el Gobierno perdió el control y los sucesos se precipitaron hasta desembocar en la toma de la Bastilla el 14 de julio de 1789.



***Assignat* de 1792 por valor de quince soles.**

Más y más papel

Como no había liquidez, se decidió crear más dinero. La primera tirada de papel moneda se puso en circulación en 1790 y reactivó la economía, pero a continuación el dinero se devaluó, volvió la inflación y hubo que hacer tiradas cada vez mayores. Tras la quinta tirada, en abril de 1792, la devaluación ya era casi inmediata. El rey fue destronado y hecho prisionero, la Comuna se hizo con el poder y en enero de 1793 el rey fue guillotinado y una nueva tirada de *assignats* se puso en circulación. El Comité de Salud Pública entró en funcionamiento y con él se empezó a preparar el Terror. Como la inflación estaba de nuevo desatada, en mayo se introdujo el control de precios. En agosto fue prohibido el trueque, al que habían recurrido los comerciantes desesperados, y se introdujo la ley de precios máximos. En otoño se lanzó una nueva serie de *assignats* y Maria Antonieta fue decapitada. En 1794 la violación de la ley de máximos podía acarrear la condena a muerte. Lavoisier fue apresado por aquel entonces bajo la acusación inverosímil de haber realizado actividades contrarrevolucionarias. En 1795 se instauró el gobierno del Directorio y cuatro años después llegó al poder mediante un golpe de Estado Napoleón, quien hizo todo lo necesario, supresión de libertades incluidas, para dar estabilidad al país. Así acabó con la crisis. Emitió una moneda de oro a la que llamó «Napoleón», que permaneció en circulación casi un siglo sin perder su valor. Gracias a Lavoisier, Napoleón también tendría la pólvora que necesitaba para sus victorias militares.

se explicaba de nuevo el sistema de nomenclatura de los ácidos y su origen a partir de los óxidos. Se describían los experimentos de descomposición y recombinación del agua sin hacer ninguna mención a las disputas en relación a su descubrimiento. En efecto, Lavoisier no había reconocido en su día que Cavendish fue el primer científico que puso de manifiesto que el agua no era un cuerpo simple, sino que estaba compuesta por dos sustancias, los gases que Lavoisier denominaría «oxígeno» e «hidrógeno»:

> Con estos experimentos, analíticos y sintéticos, podemos afirmar que hemos asegurado, con tanta certeza como las ciencias físicas y químicas permiten, que el agua no es un elemento simple, sino que está compuesta de dos sustancias, el oxígeno y el hidrógeno.

Lavoisier afirmaba que los ácidos vegetales procedían de los óxidos, de la misma forma que los minerales, pero que a diferencia de ellos tenían «grupos» característicos compuestos por hidrógeno y carbono, que luego serían llamados «radicales», a los que se añadía el oxígeno. Esta definición inicial de ácidos orgánicos conteniendo radicales formados por carbono e hidrógeno fue crucial en el desarrollo de la química orgánica durante el siglo XIX.

NADA SE CREA NI SE DESTRUYE

En una de las secciones del *Tratado* más interesantes y menos conocidas, Lavoisier recogía los resultados de los estudios de la fermentación vinosa. La fermentación de los zumos de frutas y de otras materias con azúcares iba acompañada de la producción de gas carbónico (CO_2) y «espíritu del vino», para el cual Lavoisier recuperó la palabra «alcohol», término de raíz árabe. Sus experimentos iban encaminados a determinar las cantidades de hidrógeno, oxígeno y carbón en el azúcar. Para ello pesó una cantidad determinada de licor y dejó que fermentara. Pesó las masas del gas carbónico y del agua desprendidas durante el proceso, así como el licor que quedaba. En este último determinó su compo-

sición elemental mediante el método de análisis de compuestos orgánicos que sigue siendo fundamental hoy en día: el método de combustión. Comprobó que la masa del licor que se formaba tras la fermentación, más la del gas carbónico y el agua desprendidos, era igual a la masa total de los materiales de partida. Además, mostró que la masa total de cada elemento constituyente antes y después del cambio químico permanecía constante. Toda esta información la recogió en unas tablas que son los primeros «balances de materia». Estos sirvieron para ilustrar por primera vez el principio de que en una reacción química no hay pérdida ni ganancia de materia, solo cambios en la forma en que esta se combina:

> Esta operación es una de las más sorprendentes y extraordinarias de todas las que la química nos presenta; en ella debemos examinar tanto el gas carbónico desprendido como el espíritu inflamable [alcohol] producido, y como un cuerpo dulce, un óxido vegetal [el azúcar], se puede convertir en dos sustancias tan diferentes, de las cuales una es combustible [el alcohol] y la otra completamente incombustible [el CO_2]. Para entender estas dos cuestiones debemos conocer primero el análisis del cuerpo fermentable y los productos de la fermentación, porque nada se crea en las operaciones, bien sean del arte [en el laboratorio] o de la naturaleza, y se puede tomar como un axioma que en cada operación la misma cantidad de materia existe antes y después de la operación, que la cantidad y calidad de los principios permanece inalterada, que solo ocurren cambios y modificaciones. El arte de hacer experimentos en química se funda en esto, debemos suponer siempre una igualdad exacta entre los principios de los cuerpos examinados y los obtenidos por análisis. Así pues, como el mosto de la uva produce gas carbónico y alcohol, puedo decir mosto de uvas = ácido carbónico + alcohol. De donde se deduce que podemos determinar de dos formas lo que sucede en la fermentación vinosa: primero determinando la naturaleza y los principios del cuerpo fermentable, y segundo observando cuidadosamente los productos de la fermentación. Es evidente que el conocimiento que podemos adquirir mediante uno de esos métodos lleva a la descripción precisa del obtenido mediante el otro.

LOS ELEMENTOS SIMPLES DE LAVOISIER

Lavoisier escribió una introducción para la tabla de elementos simples que ponía de manifiesto los principios sobre los que se había confeccionado la lista:

> La química está sometiendo a experimentos a varios cuerpos de la naturaleza con el objetivo de descomponerlos y ser capaz de examinar las diferentes sustancias que entran en su composición. En nuestro tiempo esta ciencia ha hecho grandes progresos, como se puede comprobar consultando los escritos de varios químicos. El aceite y la sal se consideraban antes como elementos de los cuerpos, mientras que el experimento y la observación han traído nuevo conocimiento que descarta esta idea; también se ha mostrado que las sales no son simples, sino que están compuestas por un ácido y una base, y que su neutralidad resulta de su combinación. Los descubrimientos modernos han extendido los límites del análisis. Nos han ilustrado sobre la formación de ácidos y nos han mostrado que los ácidos están formados por la combinación de un principio acidificador común a todos, el oxígeno, y un radical que es particular de cada ácido. La química avanza hacia su objetivo y su perfección dividiendo, subdividiendo y resubdividiendo y no sabemos cuáles serán los límites de estos logros. Así pues, no podemos asegurar que lo que ahora consideramos sustancias simples, lo sean de hecho; solo podemos decir que tal sustancia es el límite actual que el análisis químico ha alcanzado y no se puede subdividir más en el estado de conocimiento. Podemos suponer que las tierras dejarán pronto de ser consideradas sustancias simples y que son los únicos cuerpos de su clase, que no tiene tendencia a combinarse con el oxígeno, y estoy inclinado a pensar que esta indiferencia hacia el oxígeno proviene del hecho de que están saturados de él [de hecho es así, sílice y alúmina son SiO_2 y Al_2O_3], si se me permite la expresión. Desde este punto de vista, las tierras deben ser sustancias compuestas, quizá óxidos metálicos oxigenados hasta un cierto punto. Como mucho, esto es una conjetura. Espero que el lector tenga cuidado de no confundir lo que relato como verdades de hechos y experiencias con lo que es solo hipotético. He omitido los álcalis fijos soda y potasa de esta tabla porque estas sustancias son evidentemente sustancias compuestas, aunque no conocemos todavía la naturaleza de los principios que entran en su composición.

Fue la primera vez que alguien enunció la ley de conservación de la masa aplicada a una reacción química. Aunque una ley parecida ya fue formulada en la Grecia clásica por Anaxágoras (siglo v a.C.), aquella no estaba apoyada en resultados experimentales. Por otro lado, esta ley estaba implícita tanto en los resultados de Cavendish como en los de Black, pero ninguno de los dos la había formulado.

El principio que Lavoisier puso de manifiesto dio lugar al concepto de ecuación química:

> Podemos considerar las sustancias sometidas a fermentación y los productos resultantes de esta operación como miembros de una ecuación algebraica, y suponiendo cada uno de los elementos de la misma desconocidos, podemos calcular sus valores uno a continuación de otro, y de esta forma verificar nuestros experimentos mediante el cálculo, y viceversa, nuestros cálculos mediante los experimentos.

Tras más de veinte años de experimentación y de reflexión, Lavoisier había conseguido lo que se propuso cuando estudiaba en

«PAULZE LAVOISIER SCULPIST»

Marie Paulze Lavoisier fue la autora de las trece láminas que ilustraron el *Tratado elemental de química*, publicado por su marido en 1789, en cuya parte inferior derecha aparece la inscripción «Paulze Lavoisier Sculpist». Como se aprecia en la figura adjunta, que corresponde a la lámina IV, los dibujos de Marie no eran los toscos esbozos que aparecían en los libros de química de la época, sino verdaderos planos a escala de los aparatos que usó Antoine, a partir de los cuales se podían construir y reproducir los montajes. Las trece láminas tratan las siguientes materias:

I. Morteros, tamices, limas.

II. Embudos, matraces, sistemas de filtración, caldero.

III. Sistemas para calentamiento y destilación.

IV. Aparatos para formación y descomposición de la cal de mercurio.

V. Destilador y serpentín.

VI. Calorímetro de hielo.

VII. Sistema usado en la recomposición y descomposición del agua.

VIII. Gasómetro con balanza.

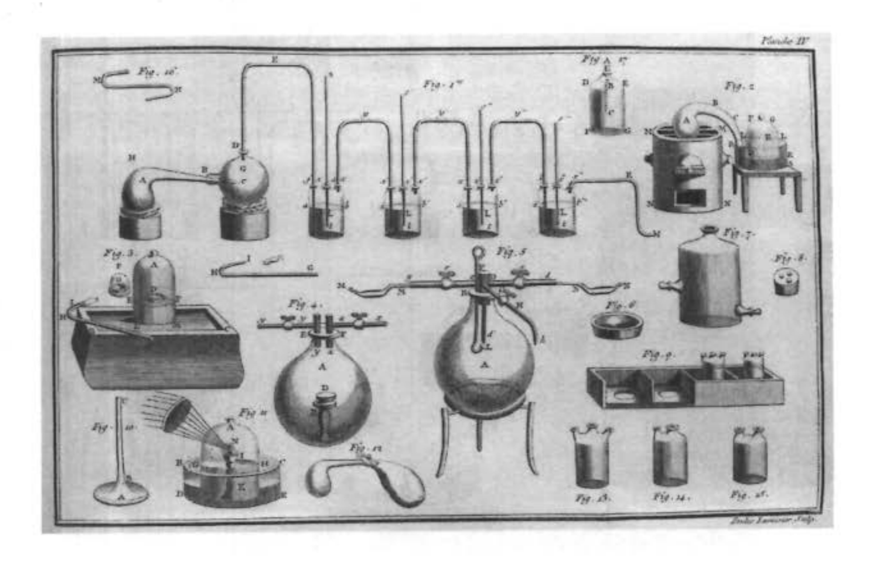
el Collège Mazarin: dotar a la ciencia que se ocupaba de los fascinantes procesos químicos que le enseñaba su profesor Rouelle de la lógica y el rigor matemático que le enseñaba su profesor Lacaille. La química dejó de ser superstición y se transformó en ciencia.

A pesar de que la ley de conservación de la masa fue lo que confirió el carácter de ciencia a la química, muchos consideran que la parte más destacable del *Tratado* fue la lista de elementos químicos que incluía el volumen. Lavoisier los define como sustancias simples que pertenecen a todos los reinos de la naturaleza que se pueden considerar como elementos de los cuerpos. Es mucho menor que la aparecida en la *Nomenclatura*, la cual incluía numerosos radicales orgánicos que, según la conclusión

IX-X. Sistema para estudiar fermentación de vino y putrefacción.

XI-XII. Sistema con serpentín y gasómetro.

XIII. Hornos y baños de arena.



a la que llegó Lavoisier, estaban formados por carbono e hidrógeno. La lista contiene todos los elementos que se conocían en la época y ningún compuesto, lo cual pone de manifiesto una gran perspicacia por parte de la persona que la elaboró. No obstante, hay un par de elementos que llaman poderosamente la atención, especialmente porque son los primeros, la luz y el calor, a los cuales Lavoisier confiere masa. Del resto de la lista lo más llamativo son los nombres antiguos de muchas de las sustancias, que ponen de manifiesto lo cerca que la química aún estaba de la alquimia.

«Todos los jóvenes químicos adoptan la teoría, de lo que deduzco que la revolución en la química ha llegado para quedarse.»

— Antoine Lavoisier.

Como en otros campos, Lavoisier fue profético en su apreciación de que la sosa y la potasa (NaOH y KOH) eran cuerpos compuestos. De hecho, a poco de comenzar el siguiente siglo, el inglés Humphry Davy (1778-1829), que había descubierto la química gracias al *Tratado* y llegaría a ser el artífice del éxito de la Royal Institution, descompuso electrolíticamente ambos álcalis obteniendo los elementos sodio y potasio; el científico británico también aislaría el magnesio, el bario, el estroncio, el calcio, el boro y el cloro. Así pues, el *Tratado* de Lavoisier marcó la fundación de la química moderna, disciplina de la cual Black había dicho diez años antes que aún no tenía categoría de ciencia.

EL SISTEMA MÉTRICO DECIMAL

Aunque los ingleses viven sin él, para el resto del mundo resulta imposible imaginar la vida sin una forma de medida racional, lógica, clara y de validez universal. A pesar de ello, hubo una época en la que el Sistema Métrico Decimal no existía. Cuando

	Noms nouveaux.	*Noms anciens correſpondans.*
Subſtances ſimples qui appartiennent aux trois règnes, & qu'on peut regarder comme les élémens des corps.	Lumière	Lumière.
	Calorique	Chaleur. Principe de la chaleur. Fluide igné. Feu. Matière du feu & de la chaleur.
	Oxygène	Air déphlogiſtiqué. Air empiréal. Air vital. Baſe de l'air vital.
	Azote	Gaz phlogiſtiqué. Mofète. Baſe de la mofète.
	Hydrogène	Gaz inflammable. Baſe du gaz inflammable.
Subſtances ſimples non métalliques oxidables & acidifiables.	Soufre	Soufre.
	Phoſphore	Phoſphore.
	Carbone	Charbon pur.
	Radical muriatique	Inconnu.
	Radical fluorique	Inconnu.
	Radical boracique	Inconnu.
Subſtances ſimples métalliques oxidables & acidifiables.	Antimoine	Antimoine.
	Argent	Argent.
	Arſenic	Arſenic.
	Biſmuth	Biſmuth.
	Cobalt	Cobalt.
	Cuivre	Cuivre.
	Etain	Etain.
	Fer	Fer.
	Manganèſe	Manganèſe.
	Mercure	Mercure.
	Molybdène	Molybdène.
	Nickel	Nickel.
	Or	Or.
	Platine	Platine.
	Plomb	Plomb.
	Tungſtène	Tungſtène.
	Zinc	Zinc.
Subſtances ſimples ſalifiables terreuſes.	Chaux	Terre calcaire, chaux.
	Magnéſie	Magnéſie, baſe du ſel d'epſom.
	Baryte	Barote, terre peſante.
	Alumine	Argile, terre de l'alun, baſe de l'alun.
	Silice	Terre ſiliceuſe, terre vitrifiable.



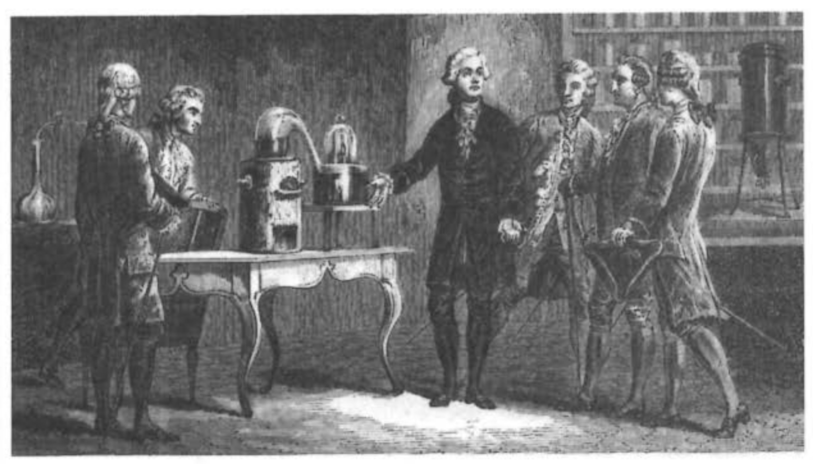


FOTO SUPERIOR IZQUIERDA:
Lista de los elementos químicos que aparecía en la primera edición francesa del *Tratado elemental de química*.

FOTO SUPERIOR DERECHA:
Escultura de Lavoisier en el Louvre, obra realizada por Jacques-Léonard Maillet a mediados del siglo XIX.

FOTO INFERIOR:
Grabado de 1874 en el que Lavoisier muestra su descubrimiento del oxígeno. Sobre la mesa que se encuentra en segundo plano, a la derecha, descansa el calorímetro inventado por él. Extraído de la obra de Louis Figuier *Vies des savants illustres du XVIII^e^ siècle*.

Lavoisier se percató de esa gran falta, hizo lo necesario para remediarla.

A finales del siglo XVIII Francia, como el resto de los países europeos, debía hacer frente a los problemas derivados de la gran diversidad de pesos y medidas, una cuestión sobre la cual ya había alertado Lavoisier en repetidas ocasiones a partir de 1785. Aunque durante los últimos años de la monarquía no se hizo nada al respecto, en mayo de 1790 la Asamblea Nacional, a propuesta de Charles-Maurice de Talleyrand-Périgord, elaboró un decreto en el que solicitó oficialmente a la Academia de Ciencias la formulación de un Sistema Universal de Pesas y Medidas que fuera referente universal. La Academia nombró entonces la Comisión de Pesas y Medidas, cuya primera conclusión fue que la unidad de longitud había de estar referida a un cuadrante terrestre. Se descartó referirla a la longitud de un péndulo, como se había hecho hasta entonces, porque esta variaba con la altitud. Se propuso como unidad el «metro», la diezmillonésima parte del cuadrante del gran círculo que rodeaba la Tierra pasando por los polos. De esta unidad de longitud derivaba la de volumen, y relacionada con ella, la de masa. Lavoisier trabajó en el desarrollo de esta última, el gramo, que era el peso del agua pura contenida en un cubo de lado igual a la centésima parte del metro.

Poco después, como solía suceder en todas las comisiones de las que formaba parte, Lavoisier se convirtió en su secretario y tesorero, tarea esta última nada fácil pues su presupuesto era de 300 000 libras. Entre otras cosas, la Comisión tuvo que sufragar los gastos de las personas que hicieron los viajes para realizar las medidas del cuadrante terrestre. Conforme la Revolución fue alterando la vida de Francia, cada vez resultó más difícil para la Comisión continuar sus trabajos; el dinero no llegaba y los sueldos y los gastos no se pagaban, por lo que Lavoisier dedicaba una gran parte de su tiempo a reclamarlos. Aun así, a finales de 1792 solo quedaba construir los patrones que debían ser enviados a los diversos países y sociedades científicas, para que su uso se extendiera.

Los miembros de la Comisión recibieron la felicitación del presidente de la Academia, que se encargó de presentar el in-

forme de sus progresos ante la Convención Nacional. Aunque el estudio fue acogido muy favorablemente, en la Convención soplaban vientos adversos para las academias; de hecho, cada vez se levantaban en ella más voces pidiendo su disolución, dado que se las consideraba un vestigio del Antiguo Régimen. Lavoisier empeñó todas sus fuerzas en su defensa, elaborando informes y cartas que tenían la mezcla de erudición, claridad de razonamiento y educación que le eran característicos, aderezados con un cierto toque de altanería. La tarea resultó ser a la postre suicida, porque las academias estaban sentenciadas, y al defender la Academia de Ciencias tan apasionadamente Lavoisier firmó su condena de muerte.

> «Nada más grande ni más sublime ha salido de las manos del hombre que el Sistema Métrico Decimal.»
>
> — Antoine Lavoisier.

A pesar de lo delicado de la situación, Lavoisier siguió haciendo medidas para completar los trabajos de la Comisión; en concreto, el científico se centró en los referidos a la densidad del agua pura. Aquellas fueron sus últimas investigaciones, e incluso a ello se debe un hecho apócrifo, según el cual pidió que su sentencia de muerte fuera aplazada para finalizar su trabajo en la Comisión. Ante lo cual, supuestamente, el presidente del tribunal habría sentenciado: «La República no necesita sabios, que la justicia siga su curso».

Pero ni Lavoisier era dado a pedir clemencia, ni Jean-Baptiste Coffinhal, que ejercía de presidente del tribunal aquel día, sabía qué era un sabio. Esta frase apareció por primera vez en la especie de oración fúnebre que Fourcroy —quien había colaborado con Lavoisier en la realización de la nueva nomenclatura química— hizo a su «amigo» en el homenaje que se le dedicó un año después de su muerte. Fourcroy estaba deseoso de ponerse a tono con los nuevos vientos que soplaban a favor de Lavoisier, mientras que cuando estuvo en condiciones de hacer algo para salvarlo, no movió un dedo.

ESTUDIO DE LA RESPIRACIÓN

Como se indicó en el capítulo anterior, una de las primeras pruebas que tanto Lavoisier como Priestley hicieron con el nuevo aire descubierto en 1774 fue estudiar si era apropiado para la combustión y la respiración. Ambos científicos comprobaron que no solo era adecuado, sino que era imprescindible, por lo que Lavoisier supuso que ambos procesos debían estar relacionados. Por este motivo, entre 1782 y 1784, realizó una serie de experimentos en colaboración con el matemático Pierre-Simon Laplace.

Lo primero que hicieron fue medir la cantidad de oxígeno consumida por un animal en un determinado lapso de tiempo y la cantidad de «aire fijo» que expelía el animal en ese mismo período, magnitudes que por analogía con la combustión debían estar relacionadas. Por otro lado, a consecuencia de la respiración, se debía desprender calor, el «calórico» mencionado anteriormente, cuya magnitud debía estar relacionada con el oxígeno consumido y el gas carbónico producido, de forma similar a lo que ocurría al quemar carbón. Medir el oxígeno consumido por un animal y el «aire fijo» desprendido eran procesos que no presentaban dificultades adicionales a las encontradas en los otros experimentos «de arte» que Lavoisier había llevado a cabo en el laboratorio. Sin embargo, la determinación de la cantidad de calor desprendido por un animal presentaba dificultades adicionales.

Su error en la percepción del «calórico» no impidió que el resto de los razonamientos y, sobre todo, sus medidas, fueran acertados. Con objeto de determinar el calor de esta peculiar reacción, la que mantenía el cuerpo de los seres vivos de sangre caliente a temperatura constante, Laplace diseñó y construyó el calorímetro de hielo. Para ello hizo uso del concepto «calor escondido», planteado por Joseph Black en 1761. Se sabía desde antiguo que el hielo no se fundía instantáneamente cuando se aplicaba calor al recipiente que lo contenía. Black dijo que el hielo tenía un «calor escondido», porque no se podía medir con un termómetro. Calculó que una determinada cantidad de hielo necesitaba ochenta veces más calor para fundirse del necesario para elevar la temperatura del agua producida desde la tempera-

MAGNETISMO ANIMAL


Franz Anton Mesmer.

A comienzos de 1784 Lavoisier formó parte de una comisión que se hizo cargo de investigar los efectos curativos del denominado «magnetismo animal». La comisión estaba compuesta, entre otros, por el astrónomo Jean-Sylvain Baillo (1736-1793), el médico Joseph-Ignace Guillotin (1738-1814) —que unos años después alcanzaría gran fama, aunque por motivos bien distintos—, el botánico Antoine-Laurent de Jussieu (1748-1836), el químico Jean Darcet (1724-1801) y el científico Benjamin Franklin, embajador de los recién nacidos Estados Unidos de América. La solicitud de que la Academia de Ciencias realizara tal investigación procedía del mismo rey, que también había pedido otro informe a la Academia de Medicina, a instancias de que el médico alemán Franz Anton Mesmer (1734-1815) hubiera solicitado su ingreso en ambas instituciones. En aquellos momentos sus sesiones curativas causaban sensación en los círculos más exclusivos de París.

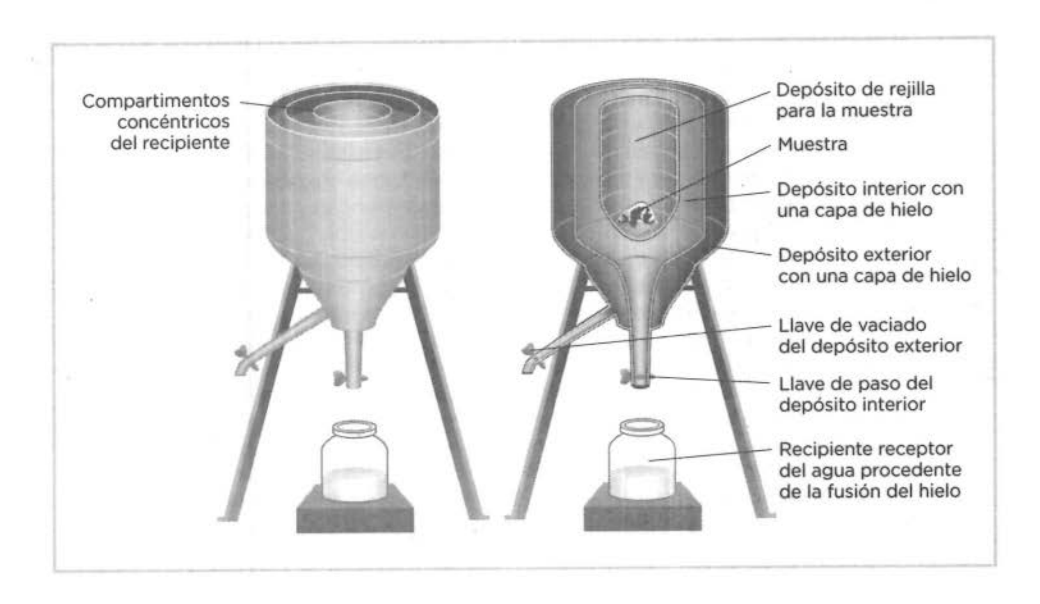
Engañar en nombre de la ciencia

Las sesiones eran colectivas y tenían lugar en torno a una bañera ovalada de unos 30 cm de profundidad y 1,5 m de largo, dentro de la cual había botellas sumergidas en agua con limaduras de hierro. La bañera estaba cubierta por una plancha metálica de la que salían unas barras de hierro. Los pacientes se sentaban alrededor de la bañera, cogiéndose las manos hasta cerrar el círculo, con las rodillas de uno pegadas a las del otro, de forma que el «magnetismo animal» fluyera a través de sus cuerpos. Se les recomendaba que pusieran en contacto con las barras de hierro aquella parte del cuerpo que estuviese enferma. A continuación, los ayudantes de Mesmer comenzaban a dar masajes a los pacientes, a la vez que un pianoforte comenzaba a sonar, acompañado por una soprano. Muchos de los pacientes entraban en trance, que terminaba cuando Mesmer entraba en la sala y los despertaba con un chasquido de los dedos. Para emitir un veredicto, los miembros de la comisión participaron en varias sesiones, concluyendo que «la imaginación sin magnetismo produce convulsiones, el magnetismo sin imaginación no produce nada». En un informe secreto añadieron que el tratamiento magnético no podía ser más que peligroso para las costumbres. No era para menos, ya que se habían encontrado con un caso de hipnotismo colectivo protagonizado por un charlatán.

El calorímetro de hielo de Laplace consta de tres compartimentos concéntricos; en el central se coloca el cuerpo cuyo calor quiere medirse. Este calor funde el hielo contenido en el segundo compartimento y el agua obtenida por fusión se recoge en el recipiente que hay debajo abriendo el grifo. Esta agua se pesa para determinar el calor desprendido. En el compartimento exterior se pone hielo para que actúe como aislante de todo el sistema.

tura de fusión a la de ebullición. El valor de ese calor escondido (lo que hoy llamamos «calor latente») para el hielo había sido determinado y Laplace lo empleó como forma de medir el calor desprendido por un conejillo de Indias en el dispositivo representado en la figura de abajo, un calorímetro de hielo similar a los que se siguen empleando hoy día.

Se trataba de un recipiente que constaba de tres compartimentos concéntricos. En el central se ponía el carbón que se pretendía quemar o el animal cuyo calor quería medirse; el intermedio contenía el hielo que se fundía y caía al recipiente que estaba debajo, donde se medía la cantidad de agua; el externo se llenaba de hielo para que actuara de aislante del ambiente. En un primer experimento, pusieron el conejillo de Indias durante diez horas en el compartimento interior, tras lo cual midieron el hielo fundido. También midieron la cantidad de oxígeno inhalado y la de «aire fijo» expelido durante ese mismo lapso de tiempo. Determinaron la cantidad de calor por un lado a partir del hielo fundido y, por otro, a partir del CO_2 desprendido, suponiendo que la reacción por la que se formaba era análoga a la combustión del carbón y que, por tanto, desprendía el mismo calor. Obtuvieron



unos resultados muy parecidos para el calor calculado por ambos métodos, a partir de lo cual confirmaron su hipótesis de que la respiración era una especie de combustión lenta. Sus conclusiones fueron del todo acertadas:

> La respiración es, pues, un fenómeno de combustión muy lento, similar al del carbón, que tiene lugar en los pulmones, sin exhalar luz, porque la materia de fuego es absorbida por la humedad de los órganos y los pulmones. El calor desprendido por esta combustión va en los vasos sanguíneos que pasan a través de los pulmones y subsecuentemente fluye por todo el cuerpo. Así pues, el aire que respiramos es empleado para conservar nuestros cuerpos de dos formas: quita de la sangre el aire fijo, que puede ser dañino cuando es muy abundante, y el calor que entra en nuestros pulmones a través de este fenómeno reemplaza el calor perdido en la atmósfera.

LA LLAMA DE LA VIDA

Los experimentos con Laplace terminaron en 1784, pero no la curiosidad de Lavoisier por conocer los detalles de la combustión que mantenía constante la temperatura de los animales de sangre caliente. Tampoco estaba satisfecho con la pequeña discrepancia en la cantidad de calor calculado a partir del hielo fundido y del CO_2 expelido por el conejillo de Indias. En 1789, tras haber publicado su *Tratado elemental de química*, reanudó estos estudios, pero entonces no se conformó con investigar con cobayas. Quería saber cómo era el proceso en el ser humano. Así pues, diseñó una nueva serie de experimentos con Armand Séguin, que entonces tenía veintiún años, en los cuales este joven fue a la vez colaborador y conejillo de Indias.

Como en los experimentos previos Lavoisier había observado cambios en la cantidad de oxígeno consumido a causa de la digestión y del movimiento, decidió investigar de forma sistemática la influencia de ambos factores en la respiración, así como la influencia de la temperatura. Midió la cantidad de oxígeno consumido,

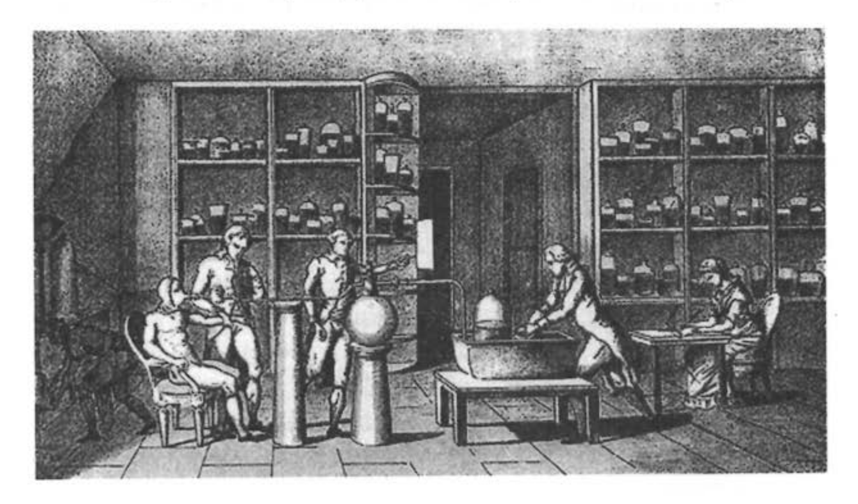
la de CO_2 producido y los cambios en el ritmo cardíaco. Encontró que para un hombre en ayunas y en reposo, el consumo de oxígeno se incrementaba en torno al 10% si la temperatura bajaba a unos 15 °C. Durante la digestión, este aumento era del 50%, mientras que durante el ejercicio en ayunas el consumo llegaba a multiplicarse por tres. Si el ejercicio se realizaba durante la digestión, el consumo se multiplicaba por cuatro respecto a la situación inicial. Durante todas estas pruebas la temperatura del cuerpo se mantenía prácticamente constante, pero el ritmo cardíaco aumentaba de forma proporcional al consumo de oxígeno.

Estos fueron los primeros estudios de fisiología, cuyos resultados, aunque incompletos, eran extraordinarios dadas las circunstancias. Lo más llamativo de ellos es que Lavoisier despojó la vida de todo hálito insuflado por un ser superior y estudió el cuerpo humano como si se tratara de un gran reactor en el que tenían lugar complejas reacciones químicas. Lavoisier anotó:

> Hemos observado dos leyes de la mayor importancia: hay un incremento de los latidos cardíacos en proporción directa al peso levantado a una determinada altura, y la cantidad de aire vital consumido está en proporción directa con el producto de la inspiración y los latidos cardíacos. [...] El propósito de la respiración no es enfriar la sangre, como se creía en los tiempos antiguos, más bien es una especie de combustión de carbono e hidrógeno muy similar a la que tiene lugar en una lámpara o en una vela, y en ese sentido los animales que respiran son cuerpos activos combustibles que se están quemando y degradando. El aire atmosférico proporciona el oxígeno necesario para la combustión. La sangre proporciona el combustible, y su oxidación en los pulmones explica su cambio de color. Esta combustión, que produce gas carbónico y agua, es la fuente del calor corporal. Dado que el aire vital no se puede convertir en aire fijo excepto por la adición de carbón y no puede ser convertido en agua excepto por la adición de hidrógeno, y la doble combinación no puede ocurrir a menos que el aire vital pierda parte de su calórico, el resultado es que el efecto de la respiración es extraer de la sangre una porción de carbón e hidrógeno y reemplazarlo por una porción de su calórico. Durante la circulación

UN TESTIMONIO GRÁFICO

Se dispone de una ilustración gráfica de los experimentos de fisiología de Lavoisier gracias a dos preciosas láminas que dibujó Marie durante el desarrollo de los mismos, una de las cuales se reproduce abajo. En ella aparecen varias personas trabajando en el laboratorio del Arsenal. Una de ellas es el individuo objeto de estudio, que lleva una especie de mono ceñido que debía estar herméticamente cerrado para recoger el calor y la humedad desprendida por el proceso de transpiración. De su boca sale un tubo que termina en un recipiente de cristal, que debía recoger los gases exhalados. Al igual que en la otra lámina, incluida en el capítulo anterior, a la derecha aparece una dama, ataviada al gusto de la época, que no es otra que la autora del dibujo.



el calórico es distribuido con la sangre a través del sistema animal, manteniendo así la temperatura constante observada en todos los animales que respiran.

Lavoisier estaba muy cerca de obtener la explicación correcta del metabolismo; solo su obsesión por el «calórico» le impedía llegar a ella. Asimismo, encontró la relación entre nutrición y metabolismo:

> Esta combustión tiene un coste metabólico, dado que es la propia sustancia, la sangre del animal, la que transporta el combustible. Si el animal no reemplaza, comiendo, lo que pierde a través de la respiración, en poco tiempo se quedará sin combustible y morirá, como una lámpara que se queda sin aceite.

También vio que en el cuerpo existía un mecanismo de enfriamiento cuando se producía un exceso de calor, aunque su obsesión por el «calórico» hacía que lo explicara de una forma peculiar. Creía que en la sudoración se extraía agua del organismo, que se combinaba con «calórico» para producir vapor de agua. Esta pérdida de «calórico» ayudaba a mantener la temperatura del organismo dentro de unos límites muy estrechos. También anotó que se perdía mucho «calórico» y agua a través de los pulmones durante la respiración.

En resumen, en el cuerpo humano tenían lugar tres procesos fundamentales: respiración, transpiración y digestión. La primera tenía lugar en los pulmones, y era una combinación de hidrógeno y carbono con el oxígeno del aire. Producía el calor que se expandía por todo el cuerpo con la circulación de la sangre, manteniendo de esa forma su temperatura constante. En el proceso de transpiración la pérdida de agua a través de la piel y los pulmones permitía liberar el exceso de calor. A través de la digestión la comida restablecía a la sangre lo que había perdido en la respiración y transpiración. Lavoisier concluyó sus reflexiones de una forma poética:

> La analogía entre respiración y combustión no ha escapado a los poetas, o más bien a los filósofos de la Antigüedad, de los cuales eran portavoces. El fuego robado al cielo, el fuego de Prometeo, no es una mera idea poética ingeniosa; es una imagen detallada de las operaciones de la naturaleza, al menos para los animales que respiran. Podemos decir con los antiguos que la llama de la vida se enciende en el momento en el que el niño respira por primera vez y que se extingue solo con la muerte. Cuando consideramos esta sorprendente visión profética, no podemos evitar pensar que los antiguos penetraron en el santuario del conocimiento más allá de lo que ima-

ginamos, y que la fábula es de hecho una alegoría bajo la cual escondían las grandes verdades de la medicina y la física.

Es difícil imaginar lo que Lavoisier podría haber llegado a descubrir en bioquímica, una ciencia que no existió como tal hasta varios siglos después, si su vida no hubiera tenido un final tan abrupto. A la vista de las conclusiones de estos experimentos, que fueron realizados en los turbulentos años de la Revolución, no resulta exagerada la afirmación de uno de sus biógrafos: hasta que no se llegue a la conclusión de que el mayor crimen de la Revolución francesa no fue cortarle el cuello al rey Luis XVI, sino cortárselo a Lavoisier, no se habrá entendido la historia.

CAPÍTULO 4

El estadista

Hospitales, prisiones, hacienda pública, agricultura... Nada escapó al ímpetu reformador de Lavoisier, si bien sus propuestas más revolucionarias surgieron en los ámbitos de la educación y la ciencia. La primera había de ser laica, sin discriminación de sexo y en dos niveles: uno conducente a la universidad, y el otro, a la formación profesional, una categoría que nadie había propuesto antes. Convencido de que educación y ciencia eran la base del progreso de un país, hizo un llamamiento a la Convención para que no las descuidara. Se aplaudió su propuesta y, en pago, se le cortó el cuello.

Reformador social, estadista, economista, sociólogo, pedagogo... Es difícil abarcar con unas pocas palabras todos los campos en los que Lavoisier dejó la huella de su desbordante creatividad. En cualquier caso, resulta cuando menos paradójico que la Revolución, que pretendía llevar a Francia la libertad y la igualdad, terminara incluyendo entre sus víctimas a uno de los más fieles servidores de la nación, que trabajó toda su vida para engrandecer al país, para hacer que todos sus ciudadanos, independientemente de su origen social o su lugar de nacimiento, pudieran tener las mismas oportunidades.

Miembro del Tercer Estado por nacimiento, su padre le compró un título nobiliario de rango menor como regalo de boda. Ello le daba derecho a pertenecer al Segundo Estado y anteponer un «de» a su apellido, pero nunca hizo uso de ello. Su nobleza era de rango superior, la de una inteligencia excepcional y una capacidad de trabajo infinita. La desahogada economía familiar le brindó la posibilidad de hacer la inversión necesaria para pertenecer a la Ferme Générale con solo veinticinco años. A la misma edad, su brillantez, ambición y buena estrella lo convirtieron en el miembro más joven de la Academia de Ciencias. En el marco de ambas instituciones, con ayuda de su creatividad y osadía, realizó infinidad de informes y llevó a cabo multitud de reformas encaminadas a aumentar la riqueza del país y mejorar la vida de sus conciuda-

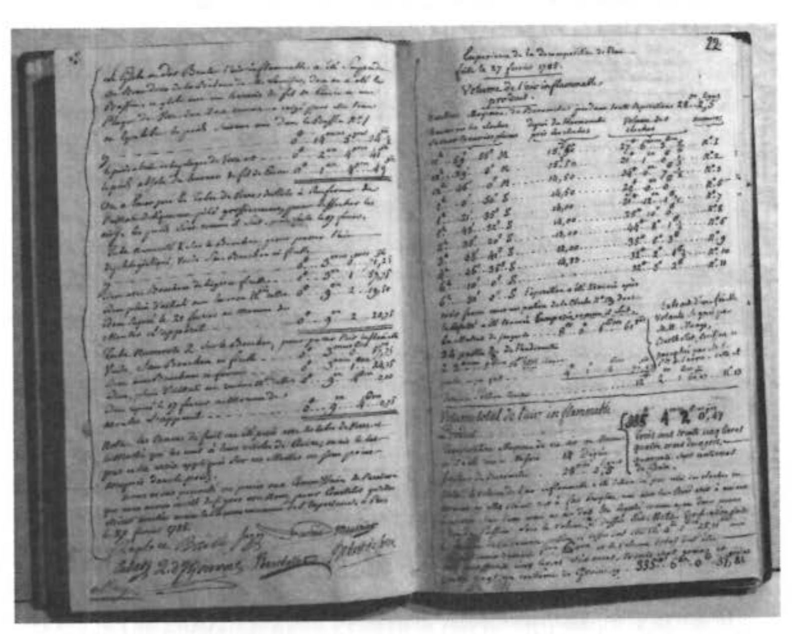
danos, especialmente la de los más desfavorecidos. Sin embargo, sus logros como economista y reformador social serían eclipsados casi por completo por sus logros científicos, a pesar de que sus aportaciones en esos campos fueron tanto o más notables que las que hizo en la química.

De entrada puede parecer sorprendente que un científico se ocupe de temas tan diversos, pero al acercarnos a sus escritos vemos que todos sus trabajos eran producto de la misma mente, cuyo objetivo era conocer lo mejor posible el mundo que le rodeaba, tanto el material como el social, y, dentro de sus posibilidades, mejorarlo. En todos sus trabajos lo alumbró la luz de la razón e intentó que los frutos de los mismos estuvieran limpios de toda traza de prejuicios.

LAVOISIER ESCRITOR

Puede parecer extravagante, cuando menos, decir que un investigador conocido por su aplicación rigurosa del método científico a todos los problemas que abordó fue ante todo un escritor. Pero lo cierto es que Lavoisier fue un gran escritor que con su erudición convenció a sus adversarios inventando primero el lenguaje, después la ciencia. Lavoisier tenía un don de palabra innato que perfeccionó a lo largo de su vida, aunque sobre todo lo desarrolló en su etapa de estudiante de leyes, cuando aprendió la importancia de usar la palabra exacta en cada situación; tal y como él mismo dijo en su *Tratado elemental de química*: «Como son las palabras las que transmiten y preservan las ideas, una ciencia no puede alcanzar la perfección si el lenguaje no se perfecciona primero. Por muy ciertos que sean los hechos y muy ajustadas a la realidad las teorías, si no se tiene un lenguaje apropiado con el que expresarlas se transmitirán impresiones falsas». La descripción clara y precisa que hizo Lavoisier de los resultados de sus experimentos cobra especial importancia si se compara con el lenguaje críptico usado por los alquimistas y sus herederos, incluyendo al gran Newton. Para apreciar sus dotes como escritor no hay más que leer alguno de sus textos; el contraste con los escritos de sus contemporáneos o con los de Newton, es enorme. Lo que Lavoisier escribió hace más de doscientos años sigue manteniéndose fresco. El resumen de los trabajos realizados por otros científicos con anterioridad es ameno y preciso; la descripción de los experimentos es detallada y, sin embargo, fácil de leer; sus conclusiones están bien justificadas. Lavoisier conocía sin duda el valor de las palabras y las empleaba de forma magistral.

La variedad y amplitud de los temas que estudió y sobre los que elaboró informes para la Academia es apabullante: desde los recién inventados globos aerostáticos de Montgolfier hasta el trabajo en las minas de carbón, pasando por la elaboración de tablas de densidad de varios líquidos —especialmente el agua de distintas procedencias— y los más diversos estudios: los distintos modelos de hidrómetros, la manufactura del almidón, las lejías y los jabones, la teoría del color y los diversos tintes, los fósiles, los aceros, los modelos de sillas de inválido, el diseño y la elaboración de tapicerías y alfombras, el análisis del fenómeno de la cristalización, la tinta china... y aún muchos otros. Los abordó todos de la misma forma: recopilando la información existente de forma exhaustiva, aplicando el rigor científico al estudio del problema y



Cuaderno de trabajo de Lavoisier con las anotaciones realizadas el 27 de febrero de 1785 a propósito del experimento de la descomposición del agua.

combinando sus capacidades como técnico y administrador para conseguir la mejor solución con el menor coste.

A algunos de los proyectos que abordó les dedicó más atención, bien porque los consideraba más urgentes o porque sentía una mayor inclinación, pero no se ocupó de ninguno a la ligera. Dado que recibía sueldos del Estado por su trabajo en la Ferme y en la Comisión de la Pólvora, estas instituciones fueron a las que dedicó más tiempo, pero puso su fortuna y su corazón en la granja de Fréchines, su experimento más personal.

FINANZAS E IMPUESTOS

En 1768 Lavoisier compró una tercera parte de un puesto en la Ferme Générale, participación que más tarde completó. Como los *fermiers*, aparte de recaudadores, eran banqueros del Estado, tuvo que desembolsar 520 000 libras, de las que obtuvo una rentabilidad de un 4-6%. Casi inmediatamente después de convertirse en miembro de la Ferme, realizó estudios sobre distintos aspectos del funcionamiento de la institución, a raíz de los cuales propuso varias reformas encaminadas a mejorar su eficacia. De entrada, luchó para eliminar los parásitos de la corte, tales como parientes y amigos de los cortesanos, que cobraban unos sueldos anuales muy generosos sin aportar capital ni realizar trabajo alguno. Por otro lado, tras constatar la heterogeneidad del sistema de recaudación de impuestos, que daba lugar a agravios comparativos y favorecía el contrabando, propugnó la supresión de las fronteras interiores, que eran la causa última de las desigualdades.

Cuando Lavoisier llegó a la Ferme el contrabando estaba tan extendido porque era muy rentable, dado que por la misma mercancía podían pagarse impuestos hasta cinco veces superiores dependiendo de la provincia. Antes de que Lavoisier llegara a la institución, la forma de atajar el contrabando era endurecer las penas, que podían llegar a ser de muerte en los casos más graves o de envío a galeras en los leves. La Ferme en su conjunto fue acumulando así durante años el odio de la población, pero

el motivo de la inquina no eran solo las injusticias del sistema de recaudación de impuestos, sino la venalidad de algunos de los miembros de la institución, que a menudo tenían demasiada prisa en recuperar las cantidades invertidas. Además, como el sistema eximía a los nobles y al clero, terminaba asfixiando a los ciudadanos más desfavorecidos del Tercer Estado, que era el único sobre el que recaía.

Como miembro de distintos comités de la Ferme, tales como los del tabaco, la sal, las exportaciones o el personal, hizo estudios exhaustivos del funcionamiento de la institución en esos campos y propuso reformas beneficiosas para cada uno de ellos. Sin embargo, una de sus propuestas iba a salirle muy cara. Cuando se hizo cargo del control de los impuestos de las mercancías que se vendían en París comprobó que al menos una quinta parte de las mismas evadían la fiscalidad, con el perjuicio que ello significaba para los ingresos de la Ferme y para los comerciantes que sí los pagaban, que trabajaban en inferioridad de condiciones. Para atajar el problema, propuso construir una muralla con el fin de controlar el acceso a la ciudad de bienes y personas.

Cuando Lavoisier ya no se ocupaba de esos impuestos, la idea fue retomada por el ministro del momento, Colonne, que encargó la construcción de la muralla al arquitecto Claude Nicolas Ledoux. Este hizo un proyecto extravagante que costó 30 millones de libras, cantidad posiblemente muy superior a la que se pretendía recaudar. El resultado fue muy criticado y se señaló como culpable a Lavoisier, que ni había diseñado la muralla ni había tomado la decisión final de construirla. Se dijo que el muro pretendía encerrar a los ciudadanos y que impedía que saliera el aire enrarecido de la capital y entrara el aire fresco. Tan comentado fue el asunto que hasta se inventó un ingenioso trabalenguas para describirlo: *Le mur mourant Paris, rend Paris murmurant* («La muralla que mata París, vuelve a París murmurante»). Para la persona a la que se consideraba responsable de tal despropósito se llegó a pedir incluso la horca. Aunque nadie ahorcó a Lavoisier entonces, el hecho no fue olvidado, y años después sería uno de los «crímenes» de los que lo acusaría Marat desde su periódico *L'Ami du Peuple*.

Consciente de lo insostenible de una institución de esas características, el banquero suizo Jacques Necker, siendo ministro de Hacienda, realizó en la Ferme reformas extraordinariamente acertadas. Los cambios iban encaminados a transformar la institución para acercarla a lo que hoy en día son las haciendas de un país democrático. Por ejemplo, los beneficios de la recaudación dejaron de ser propiedad exclusiva de los *fermiers*, para pasar a ser compartidos por el Estado al 50%. Pero ya era tarde, pues se trataba del turbulento período que sucedió a la toma de la Bastilla y la suerte de la Ferme y los *fermiers* estaba echada.

Lavoisier fue honrado mientras trabajó en la Ferme, pero ello no impidió que recogiera los odios cosechados por sus antecesores en el cargo. Y junto con otros 27 *fermiers* pagó con intereses esos odios el día 8 de mayo de 1794 en la Plaza de la Revolución.

COMISIÓN DE LA PÓLVORA

Tras su ascenso al trono, Luis XVI nombró ministro de Finanzas al fisiócrata Jacques Turgot con el objetivo de que llenara las arcas estatales. Turgot pretendía hacer amplias reformas no solo en su campo, sino también en la sociedad francesa en general, eliminando parte de los privilegios del Primer y Segundo Estado. Una de sus primeras decisiones fue crear la Comisión de la Pólvora en 1775. Por recomendación de su secretario Du Pont de Nemours, se nombró a Lavoisier miembro de la misma.

Turgot comenzó su ministerio con un ímpetu reformista excesivo, especialmente desde el punto de vista de los parásitos de la corte, cuyos sueldos en conjunto eran comparables al resto de los gastos del Estado. Por ello, para mejorar las finanzas estatales, de entrada Turgot intentó reducir el número de cortesanos drásticamente; también pretendía controlar las extravagancias de María Antonieta, que eran una auténtica sangría para las arcas públicas. Turgot no calculó bien sus fuerzas, o bien no tuvo en cuenta la debilidad del rey, de modo que cuando la presión de la corte aumentó el monarca cesó a Turgot; apenas había estado un año en el cargo.





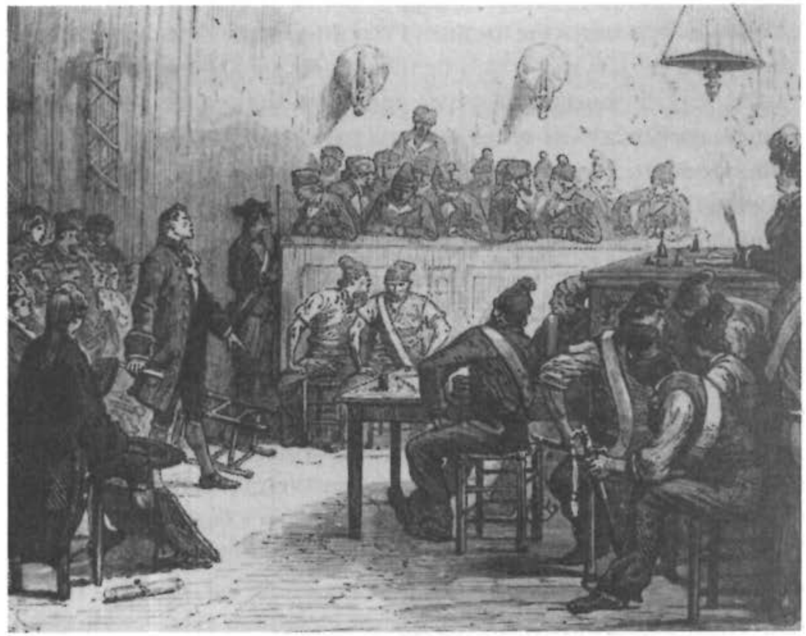


FOTO SUPERIOR IZQUIERDA:
Retrato del científico realizado en 1793, cuando este ya estaba en prisión.

FOTO SUPERIOR DERECHA:
Estatua de bronce dedicada a Lavoisier, obra de Aimé-Jules Dalou (1838-1902). Museo del Louvre, París.

FOTO INFERIOR:
Grabado dedicado al juicio al que la República sometió a Lavoisier (de pie, a la izquierda).

Afortunadamente, el funcionamiento de la Comisión de la Pólvora no se resintió de tal cese y los efectos del trabajo de Lavoisier en el Arsenal perduraron mucho después de que el rey, la reina y el mismo Lavoisier hubieran sido ejecutados. Es más, la labor realizada por el científico llegaría a ser determinante incluso en el meteórico ascenso de un pequeño y ambicioso general corso que acabó conquistando casi toda Europa.

En el trabajo al frente de la Comisión de la Pólvora, Lavoisier puso en juego no solo sus capacidades como gestor y economista, sino también su genio como químico. Los resultados que obtuvo fueron espectaculares, pues redujo costes y aumentó la producción extraordinariamente. Así, de tener que comprar pólvora a suministradores extranjeros a precios abusivos se pasó a tener almacenadas 5 millones de libras en 1788. Ello permitió vender pólvora a las colonias americanas en la Guerra de la Independencia, con el consiguiente beneficio, tanto económico como estratégico, en el marco de la política exterior de Francia (rival irreconciliable de Inglaterra por esa época, y por tanto aliada de sus enemigas, las colonias insurrectas). Por otro lado, la calidad de la pólvora también mejoró y así su «rango» (la longitud del tiro) pasó de 150 a 250 m. Por último, todos los sueldos relacionados con dicha manufactura fueron a manos de ciudadanos franceses. Se calcula que el ahorro para las arcas del Estado por este concepto fue de 28 millones de libras en los años en los que Lavoisier estuvo en el Arsenal. Pero lo más importante fue que Francia dejó de tener un ejército frágil debido a su munición. De hecho, las victorias de Napoleón no habrían sido posibles sin la pólvora de Lavoisier.

En el desarrollo de su trabajo hubo, sin embargo, un trágico accidente que habría podido costarle la vida. En 1788 visitó junto a su esposa la fábrica de Essonnes para supervisar personalmente la preparación de la pólvora. En un experimento destinado a comprobar la eficacia del clorato potásico —un nuevo compuesto descubierto poco antes por Berthollet— como sustituto del salitre, tuvo lugar un accidente. El encargado de la fábrica y la hermana de un comisionado murieron a consecuencia del mismo y los Lavoisier se libraron por minutos, pues se habían entretenido desa-

LOS DU PONT DE NEMOURS Y LOS LAVOISIER

Economista, poeta y aspirante a científico, Pierre Samuel du Pont de Nemours (1739-1817) fue un ferviente admirador de Lavoisier, el más apasionado embajador de sus nuevas teorías y la persona que hizo la descripción más hermosa de su obra: «La química moderna, inventada por Lavoisier, ha levantado el velo con el cual la naturaleza cubría los elementos y las combinaciones de los cuerpos». Su amistad con los Lavoisier llegó a ser tan estrecha que su hijo Éleuthère Irénée fue apadrinado por Antoine; cuando el joven creció y buscó una forma de ganarse la vida para poder casarse, Lavoisier, que lo trataba como a un hijo, lo contrató como aprendiz en la fábrica de pólvora de Essonnes. Partidario ferviente de la Revolución en sus comienzos, Du Pont de Nemours le retiró su apoyo dada la orgía de sangre en la que se convirtió durante la época del Terror. Junto con su hijo Éleuthère Irénée defendió al rey Luis XVI y María Antonieta cuando se produjo el intento de asalto del palacio real en agosto de 1792, lo que determinó su condena, a pesar de haber sido miembro de la Convención. Detenido poco después que Antoine, solo se libró de sufrir el mismo destino gracias al fin de la época del Terror.



Du Pont de Nemours.

Una historia silenciada

Curiosamente, la relación entre Du Pont de Nemours y los Lavoisier esconde una historia que fue silenciada durante años. Su correspondencia indica que fue amante de Marie Paulze Lavoisier desde 1781. Parece que Antoine estaba al corriente, a pesar de lo cual Pierre Samuel y él siguieron siendo amigos y Marie continuó siendo la colaboradora más eficiente de su marido. Cuando Marie y Pierre Samuel fueron excarcelados también había muerto la señora Du Pont de Nemours y el economista intentó convencer a la viuda de Antoine de que se casará con él, pero ella lo rechazó por motivos que se desconocen. Lo que sí está bien documentado es que Pierre Samuel quedó profundamente herido por el rechazo, hasta el punto de pedir a su hijo, que se había establecido en las recién independizadas colonias americanas, que cambiara el nombre de su fábrica de pólvora, a la que había pensado llamar «Lavoisier» en honor a su maestro y padrino. Esa fábrica fue el arranque de la multinacional DuPont, una de las grandes industrias químicas actuales.

yunando. Este suceso no desanimó al científico, sino que lo llevó a extremar las medidas de seguridad para prevenir que accidentes similares pudieran tener consecuencias trágicas en el futuro. El empleo del clorato potásico no resultó rentable, finalmente.

PRISIONES Y HOSPITALES

En 1780 el recién nombrado ministro Jacques Necker, a instancias de su esposa, solicitó a la Academia de Ciencias un informe sobre el estado de las prisiones de París, motivo de descontento ciudadano. En sus viajes a través de Francia como miembro de la Ferme, Lavoisier ya había tenido ocasión de comprobar el lamentable estado de las cárceles del país. Esta situación era análoga a la de las prisiones de todos los países europeos, excepto las de Alemania y Holanda, donde los reclusos estaban bien alojados y alimentados e incluso hacían un trabajo útil.

Para atender a la solicitud de Necker, se nombró la correspondiente comisión, cuyo trabajo fue coordinado por Lavoisier, que también fue la persona encargada de redactar el informe. El primer escollo que tuvieron que salvar los comisionados y sus ayudantes fue superar las trabas que les pusieron para acceder a las dependencias de las prisiones. Obviamente, los responsables de las mismas eran conscientes del lamentable estado en el que se encontraban las instalaciones y no querían que esa información trascendiera. Pero esta actitud no iba a desalentar a Lavoisier, que abordó la situación con la mezcla de cortesía y decisión que le eran características. No hay que descartar que usara la fuerza que le daba el estar obedeciendo un mandato real.

Como era de esperar, el informe resultó demoledor, ya que informaba minuciosamente de las condiciones en las que vivían los reclusos. Los prisioneros estaban llenos de piojos y sarna, lo cual no era de extrañar pues por falta de espacio debían permanecer de pie o sentados, incluso para dormir, y vivían rodeados de suciedad e inmundicias. Las celdas no se limpiaban nunca, no había letrinas y los presos apenas tenían agua para lavarse. Además,

no había separación entre condenados y personas pendientes de juicio, militares y civiles, asesinos y ladrones.

Tras hacer una descripción descarnada de la horrible situación, Lavoisier diseñó un plan completo para garantizar el suministro de agua limpia, un sistema de alcantarillado y de ventilación, así como patios para que los presos pudieran ejercitarse y tomar el sol, y celdas con un camastro para cada uno de los prisioneros. Recordó lo obvio: que los reclusos no eran animales, sino ciudadanos franceses que tras cumplir su condena debían reintegrarse a la sociedad. Aunque el informe y el plan de mejora fueron muy bien recibidos, la caída de Necker en 1781 impidió que las reformas propuestas por Lavoisier se pusieran en práctica de forma inmediata; sin embargo, cuando se dispuso de fondos diez años después, se siguieron las propuestas de Lavoisier.

En 1787 se requirió un informe similar respecto al estado de los hospitales de París, especialmente el Hôtel-Dieu, el más grande y también el más famoso por su lamentable estado. Como en el caso de las prisiones, Lavoisier dedicó casi un año a hacer el diagnóstico de la situación e identificar las carencias más graves: falta de camas (en algunos hospitales había el triple de enfermos que de camas), falta clamorosa de higiene y mezcla de todo tipo de enfermos: los que tenían heridas con los infecciosos, estos con los dementes, los niños con los ancianos... Este caos hacía que un hospital fuera antes un moridero que un lugar donde curarse.

Tras informarse de la situación en el resto de los países europeos y ver los avances que se habían hecho en otras naciones, especialmente en Inglaterra, Lavoisier hizo el correspondiente plan de mejora buscando el beneficio de los más necesitados con el menor coste para las arcas del Estado. Para ello propuso la construcción de cuatro hospitales a las afueras de París en los cuatro puntos cardinales, con un diseño especial que facilitara la limpieza y la ventilación. Consideró que el antiguo Hôtel-Dieu no tenía solución, por lo que era mejor derribarlo. De nuevo el informe fue muy bien recibido, pero las arcas estaban aún más vacías que cuando Lavoisier hizo su estudio de las prisiones. Tiempo después terminó por realizarse su plan de mejora, aunque él ya no vivía para verlo.

EL EXPERIMENTO MÁS AMBICIOSO: FRÉCHINES

La fortuna de los antepasados de Lavoisier comenzó a forjarse en el cultivo del campo, y su padre todavía tenía raíces en él. Por ello, Antoine no dejó de visitar la finca familiar en Villers-Cotterêts durante su infancia y juventud. Con los años, su afición por el campo adquirió otro matiz, llegando a ser el objetivo de un experimento a gran escala en cuanto a tiempo, espacio e inversión monetaria, en el cual Lavoisier pretendía encontrar técnicas de mejora de la producción agrícola y ganadera.

«Un terrateniente rico no puede cultivar y mejorar su granja sin extender la comodidad y el bienestar a su alrededor. Los cultivos ricos y abundantes, con una población numerosa y un paisaje rural próspero, son las recompensas por sus esfuerzos.»

— Antoine Lavoisier.

Inicialmente, a través de los viajes que hizo con Guettard para la elaboración del mapa geológico y después durante los viajes que llevaba aparejados su trabajo en la Ferme y en la Academia, Lavoisier recorrió toda Francia. Durante estos viajes tuvo ocasión de comprobar que la principal riqueza del país era su agricultura. También pudo ver las condiciones miserables en las que vivían la mayor parte de los campesinos. Muy probablemente, mientras iba teniendo conocimiento de estos hechos, su mente fue dibujando esbozos de cómo se podían remediar muchos de los males que aquejaban a la agricultura francesa. De este modo, en 1778 adquirió una finca en Fréchines, localidad situada entre Blois y Vendôme. En esa época muchos nobles y altos funcionarios del Estado que residían habitualmente en París tenían fincas fuera de la capital. Para unos, eran un lugar de recreo y retiro donde descansar de los ajetreos de la corte, mientras que para otros eran una forma de redondear sus ingresos.

El objetivo de Lavoisier al comprar la finca era distinto. De entrada, pretendía obtener una información detallada y veraz sobre los costes y beneficios de una explotación agrícola y ga-

nadera. Sobre la base firme de esta información quería realizar su experimento más ambicioso, cuyo objetivo era optimizar la forma de cultivo y explotación. Para ello, aplicando el método científico, y al tiempo que cuantificaba los resultados, pretendía ir modificando distintas variables: los tipos de cultivo, el número y tipo de cabezas de ganado (vacas y ovejas), la extensión dedicada a pastos, la frecuencia y el tipo de abonado, la extensión de los territorios dedicados al barbecho... Hay que tener en cuenta que el lapso de tiempo requerido para ver los efectos de cada pequeña modificación venía dado por la época de la cosecha, es decir, que estaba obligado a trabajar en ciclos de un año.

Lo primero que hizo Lavoisier tras comprar la finca fue cartografiarla detalladamente y parcelarla para poder realizar en cada parcela un tipo y una forma de cultivo. Como los factores a tener en cuenta eran muchos, tuvo que arrendar la finca vecina para que los resultados no se demoraran demasiado en el tiempo. Además, vio que por causas muy justificadas los campesinos eran el colectivo más reacio a los cambios, dado que un error en un cultivo tardaba al menos un año en recuperarse, y ello podía significar hambre y penurias. Pronto comprobó que incluso en la época de las mejores cosechas y ventas de los productos agrícolas al mejor precio, el rendimiento de la inversión nunca superaba el 5%. Por eso no era una forma de obtener beneficios fáciles, no atraía el dinero de los inversores, ni siquiera la reinversión por parte de los dueños de los beneficios obtenidos en la propia finca.

También se debía tener en cuenta que muy a menudo se producían «años negros», en los que la cosecha se perdía a causa de la sequía o de una plaga. En esos casos, lo que para un inversor significaba no tener beneficios o incluso tener pérdidas, para el campesino y su familia significaba pasar hambre. En 1785 hubo una gran sequía, que según algunos historiadores no fue ajena al estallido revolucionario que culminaría con la toma de la Bastilla unos años después. La comarca de Blois tuvo la suerte de contar con un vecino como Lavoisier, que hizo un préstamo a la municipalidad de 10000 libras sin interés, para que sus habitantes no murieran de hambre, cosa que estos no olvidaron nunca.

Por otra parte, sin unas inversiones mínimas, el rendimiento medio de la finca bajaba, por lo cual las ganancias eran aún menores incluso en época de buenas cosechas. La situación era compleja y su mejora requería trabajar en varios frentes. No era suficiente con optimizar las formas de cultivo, había que facilitar a los campesinos créditos a bajo interés para que no descuidaran el mantenimiento de la finca y para que no pasaran hambre en época de malas cosechas. Era imprescindible también modificar drásticamente el sistema de impuestos, que en Francia recaía exclusivamente sobre el Tercer Estado, dentro del cual los campesinos eran el colectivo más numeroso y también el más débil, pues trabajaban en una industria que dejaba el menor margen de beneficios y estaba sometida a imponderables como las inclemencias meteorológicas. Había que tener en cuenta también estas singularidades a la hora de diseñar y, sobre todo, recaudar los impuestos. Por último, para sacar a los campesinos del abismo de miseria en el que vivían la mayor parte de ellos, había que proporcionar los servicios mínimos de escolarización y atención médica, así como ayudas para la construcción de viviendas. Lo que Lavoisier pretendía, más que hacer un experimento agrícola, era llevar a cabo una auténtica revolución campesina, aunque la titularidad de la finca siguiera siendo suya.

A pesar de la infinidad de aspectos que había que trabajar y mejorar, Lavoisier no perdió de vista el objetivo primero de su experimento, que era mejorar la producción agrícola. Para ello fue haciendo pequeñas modificaciones e incorporando las que mejoraban los rendimientos. Supervisaba personalmente estos cambios pasando dos o tres temporadas al año de quince o veinte días en la finca, normalmente en la época de las cosechas. Además, se mantenía informado asiduamente de todo lo que acontecía en ella mediante informes que le enviaban por correo. De esa forma logró multiplicar por dos la producción. En el cultivo de trigo, tanto en Francia como en Fréchines antes de que se hiciera cargo de ella Lavoisier, la producción ascendía en promedio a una cantidad cinco veces superior a la simiente sembrada. Tras quince años de trabajo, en 1793, la última cosecha que se recogió en la finca antes de que Lavoisier fuera ajusticiado, produjo diez veces la simiente sembrada.

Hay que recordar que aparte de sus trabajos en la Ferme, la Academia y la Comisión de la Pólvora, Lavoisier realizó este grandioso experimento mientras desarrollaba la teoría sobre la combustión, descomponía y recomponía el agua, desmontaba la teoría del flogisto y redactaba el texto de la nomenclatura química.

LA RIQUEZA TERRITORIAL DE FRANCIA

En 1788 Lavoisier estuvo en condiciones de emitir un informe preliminar, que resumía los resultados de sus experimentos para optimizar el rendimiento agrícola y ganadero de la finca de Fréchines, que presentó ante la Academia de Agricultura de Francia. A pesar de que habían transcurrido diez años desde que había adquirido la finca, durante los cuales había trabajado en ella de forma ininterrumpida, era consciente de que para llegar a conclusiones definitivas hacía falta que el estudio se prolongara durante muchos años más.

Como no se conformaba con lo que ya había conseguido, sino que su curiosidad y su preocupación por mejorar el país eran insaciables, tras presentar el informe preliminar sobre los resultados obtenidos en Fréchines se dedicó a un proyecto de mayor envergadura. Completó un estudio con cuyos resultados elaboró un informe en el que se cuantificaba la riqueza territorial de Francia. El fin de dicho informe era buscar las formas de aumentarla, para así mejorar la vida de sus conciudadanos, especialmente los de las clases más desfavorecidas. La información para este estudio fue recogida por muchas personas a lo largo de varios años, pero fue Lavoisier quien procesó y organizó todos los datos para incluirlos en el informe final.

No había precedentes de un estudio de tal envergadura en ningún otro país; habrían de pasar casi dos siglos para que se crearan los institutos de estadística y se desarrollaran las encuestas de población. El informe comenzaba presentando un censo completo de la población de Francia, que entonces ascendía a 25 millones de habitantes, desglosado por sexos, edades, estado civil y

MARAT, EL AMIGO DEL PUEBLO

Aunque nacieron el mismo año, los caminos de Jean-Paul Marat (1743-1793) y Antoine Lavoisier no se cruzaron hasta 1778, cuando el primero presentó su estudio sobre el *Fluido ígneo* a la Academia de Ciencias. Marat, que había estudiado en Londres, se ganaba la vida por esa época ejerciendo como médico en París con un título de la universidad escocesa de Saint Andrews, un lugar que nunca había pisado. Pero su inclinación hacía la ciencia era cada vez mayor, y sus aspiraciones eran desarrollar una carrera científica en el seno de la Academia, para lo cual se aprestó a estudiar la naturaleza de la luz, el calor y el fuego, temas entonces de moda. Tras la evaluación positiva de un primer informe, presentó otro más extenso con unas pintorescas teorías sobre el calor, cuyas conclusiones fueron rechazadas por una comisión de la Academia. Poco después, Lavoisier descubrió que Marat había publicado su estudio como si contara con el refrendo de la Academia, tras lo cual esta lo desautorizó oficialmente. Tras la caída de la monarquía, Marat fue miembro de la Convención, pero su auténtico poder estaba en su afilada pluma como director del periódico *L'Ami du Peuple* («El amigo del pueblo»), desde cuyas páginas firmaba sentencias de muerte más implacables que las del temible Comité de Salud Pública. Ahí escribió en enero de 1793: «Denuncio ante ustedes a este maestro de charlatanes, el señor Lavoisier, hijo de rentista, aprendiz de químico, recaudador de impuestos, comisionado de la pólvora y el salitre, administrador de

oficio. A continuación, se detallaba la producción de los bienes de consumo, empezando por el fundamental, base de la alimentación de la población, el trigo, incluyendo también el arroz y el resto de los cereales, la leche, el vino, los quesos, las frutas, las verduras, las hortalizas, el pescado, las distintas carnes, la leña, el vestido y la cabaña de ganado, desglosada en ovejas y vacas. Con toda esa información se hacía la primera evaluación de la renta per cápita media del país.

El informe fue el primero de su estilo y es un modelo de concisión y claridad que se lee con relativa facilidad, a pesar de que su contenido es una acumulación de datos. Constituía una excelente base sobre la que planificar la estrategia del desarrollo del país. Lavoisier lo presentó ante la Asamblea Nacional el 15 de marzo de 1791, en los turbulentos días que precedieron a la caída de la monarquía. Lo hizo en su calidad de miembro de la Caisse

los fondos de descuento, secretario del rey, miembro de la Academia de Ciencias. Piensen ustedes que este caballerito disfrutaba de unos ingresos de 40 000 libras, teniendo como méritos haber encarcelado a París, interceptando la libre circulación del aire a través de la ciudad con la construcción de una muralla, que nos costó a nosotros, pobres ciudadanos, 30 millones de libras, y haber transferido la pólvora del Arsenal a la Bastilla la noche del 12 al 13 de julio, en una intriga diabólica para resultar elegido administrador del departamento de París. ¡Ojalá hubiera sido colgado de un poste de luz!». El destino de Lavoisier estaba sellado. Pero su pluma emponzoñada también selló el destino del propio Marat, que murió apuñalado por la girondina Charlotte Corday el 13 de julio de 1793, mientras se encontraba dándose un baño para calmar su eccema.



***Muerte de Marat*, óleo de Jacques-Louis David.**

d'Escompte, institución precursora de la banca nacional francesa. El informe pretendía ser el primer paso de un ambicioso proyecto de reforma económica.

Lavoisier no viviría para ver los frutos de este trabajo. Un par de meses antes, Marat había publicado una vitriólica carta contra él en su periódico *L'Ami du Peuple.* Todos los trabajos que había hecho y los que todavía hacía por el país, no lograron salvarle.

EDUCACIÓN PÚBLICA

Quizá la faceta más deslumbrante y desconocida de Lavoisier como reformador social es la dedicada a la enseñanza pública, que propugnaba laica, gratuita y universal, sin distinción de clase

social ni sexo. En este último aspecto dejó atrás a todos los revolucionarios, que consideraron que los derechos de las mujeres se conquistarían una vez estuviera asentada la conquista de los derechos de los hombres.

Las palabras de Lavoisier en relación con la historia de la educación son el alegato más elocuente para su defensa y ponen de manifiesto su anticlericalismo, cuidadosamente velado por muchos de sus biógrafos. De este modo, en sus *Reflexiones sobre un plan de instrucción pública*, un informe que fue presentado ante la Asamblea Nacional en septiembre de 1791 por Talleyrand, afirmaba:

> La educación pública como existe en prácticamente toda Europa fue diseñada no con la intención de educar ciudadanos, sino con el propósito de educar curas, monjes y teólogos. [...] Como durante muchos años se educaba solo a los hombres destinados a la Iglesia, y como esta era la vía para ganar honor y fortuna, la población de las naciones católicas se dividía en dos grupos. Por un lado, estaba el clero, en el que se concentraban las personas ilustradas, y por otro, los iletrados, que eran prácticamente el resto de la población. Por otra parte, el espíritu de la Iglesia ha sido siempre ir en contra de toda innovación. Así pues, inicialmente por azar, pero posteriormente por un planteamiento cuidadoso, todo lo que podía haber destruido errores y prejuicios, estaba concentrado en las manos de aquellos cuyo máximo interés era mantener esos errores. Este período, que ha durado dieciséis siglos, ha estado prácticamente perdido para la razón y durante el mismo todo el progreso de la mente humana ha estado completamente suspendido, habiéndose dado incluso pasos hacia atrás. Debe ser siempre recordado en la historia de la humanidad, para que se pueda juzgar lo importante que fue, el comportamiento de los que se opusieron a esas antiguas reliquias de ignorancia y barbarie.

Tras hacer esta declaración de intenciones, Lavoisier se puso a desarrollar un plan nacional de educación a petición de la Oficina de Consulta de Artes y Oficios. Su plan fue presentado en agosto de 1793 sin que apareciera el nombre de su autor por nin-

gún sitio. Curiosamente, y en claro contraste con el cuidado que puso en dejar clara la autoría de sus trabajos científicos, en el resto de los campos en los que trabajó no se molestó en dejar constancia de su propiedad intelectual. Este informe abarca no solo la educación en su conjunto, sino también la investigación y la técnica.

> «Una nación en la cual las ciencias y las artes aplicadas languidezcan, será adelantada por las naciones rivales y perderá poco a poco su capacidad de competición; su comercio, su riqueza, pasarán a manos de los extranjeros y finalmente se convertirá en presa fácil para los que decidan invadirla.»
>
> — Antoine Lavoisier.

La primera parte de su plan estaba dedicada a la educación primaria y a la enseñanza de oficios. Aunque admitía que los talentos de cada niño eran muy diferentes, proponía una completa igualdad de oportunidades, con una educación universal y gratuita que debía incluir lectura, escritura, aritmética, elementos de geometría, botánica, historia natural y agricultura. Como tareas de recreo proponía el trabajo de la madera y el metal. Planteaba una educación secundaria de dos tipos: una para los pupilos destinados al servicio público, que debía incluir lenguas y literatura, y otra, para formar en artes y oficios. La primera debía llevar a la universidad, y la segunda, a unos centros inexistentes entonces, que tenían que proporcionar una educación técnica (algo así como los centros de formación profesional de hoy día) y acoger por igual a alumnos y alumnas. Según él, no había centros de estas características porque ninguna nación se había interesado en serio por la educación de la gente más industriosa.

Pero sus objetivos eran todavía más ambiciosos; no le interesaba solo la educación del individuo, sino la de la nación y la de la humanidad entera. Lavoisier realizó planes detallados para las enseñanzas primaria y superior que habían de abarcar desde el parvulario hasta la universidad, indicando el número y la ubicación más apropiada de las escuelas y liceos. Además del contenido del

currículo y la organización de los centros, dio pautas pedagógicas que más parecen del siglo XXI que del XVIII. Así, por ejemplo, indicaba que en la escuela primaria las lecciones de una misma materia no debían ser muy largas, porque era difícil retener la atención de los niños durante mucho tiempo. Además sugería que las lecciones de lectura, escritura y aritmética se alternaran con las de historia natural, dedicadas al estudio de animales o plantas; también recomendaba dar paseos para visitar monumentos y estudiar los paisajes del entorno. En una época en la que el axioma «la letra con sangre entra» era el único principio pedagógico en uso, él proponía dar la autoridad para los castigos a los propios alumnos. En una visión integradora, abogaba por una formación integral en ciencias y letras.

Por otro lado, consideraba que la obligación del Estado no se debía limitar a la difusión del conocimiento, sino que debía poner los medios para aumentarlo, para lo cual abogaba por la construcción de institutos de investigación. Propugnaba la colaboración entre la ciencia y la técnica como base del desarrollo de un país. E incluso iba más allá en su propuesta de colaboración, pues consideraba que la ciencia era una labor de equipo, por lo que los científicos debían colaborar entre ellos:

> El objetivo estará inacabado si los científicos y los técnicos encargados del avance del conocimiento humano trabajan aislados unos de otros, si viven atados a un único tipo de estudio, industria o ciencia. Todas las ramas de la ciencia o de la industria están unidas unas a otras y no es posible hacer grandes progresos en una si las demás están retrasadas; es un ejército que debe marchar en un frente común. Además, la mayor parte del trabajo que queda por hacer en ciencia y en las artes aplicadas es el que necesita de la cooperación de muchos científicos. ¿Dónde estaría la física y la química experimentales si los geómetras no les hubieran proporcionado su método y la severidad de los razonamientos y cálculos? Ya se ha observado que muchas de las artes más útiles para la sociedad necesitan la colaboración de todas las ciencias. Por ejemplo, el arte de la navegación o el de la medicina. Por ello es necesario que científicos y técnicos se encuentren periódicamente en asambleas comunes don-

de asistan representantes de ramas del conocimiento que no parezcan tener conexión unas con otras.

Hoy es una obviedad hablar de la importancia de los congresos científicos en el avance de la ciencia, pero es sorprendente que Lavoisier abogara por su existencia con más de un siglo de antelación. En una vibrante presentación ante la Convención declaró:

> ¡Ciudadanos representantes, el destino de la República francesa está en vuestras manos! Sobre vosotros recae la responsabilidad de elevar a Francia hasta un grado de esplendor y prosperidad mayor que el alcanzado nunca por ninguna nación de la que tengamos memoria. Organizad la educación en todos los sitios, dad ímpetu a las artes aplicadas, a las ciencias, a la industria, al comercio. Mirad con qué vigor otras naciones, nuestras rivales, se ocupan de remediar con industrias sus carencias de población y riqueza territorial. Una nación que no tome parte en este movimiento general, una nación en la cual las ciencias y las artes aplicadas languidezcan, será adelantada por las naciones rivales y perderá poco a poco su capacidad de competición; su comercio, su riqueza, pasarán a manos de los extranjeros y finalmente se convertirá en presa fácil para los que decidan invadirla. Legisladores, la educación hizo la Revolución; ¡dejad que la educación siga siendo entre vosotros el paladín de la libertad!

En menos de un año los ciudadanos representantes decidieron cortarle el cuello a quien defendía tan apasionadamente el destino de Francia abogando por la educación y la investigación. Pero a pesar de ese magnicidio, no era Francia el país que dejando de lado la educación y la investigación sería presa fácil para la invasión. Las palabras de Lavoisier resultaron proféticas para otro país, su vecino del sur, cuyo suelo fue hoyado por los ejércitos franceses e ingleses pocos años después. Es el mismo país que dos siglos después sigue descuidando su investigación, hipotecando así el futuro de sus ciudadanos.

Epílogo

Antoine Lavoisier fue guillotinado el 8 de mayo de 1794. Tenía cincuenta y un años y estaba en la plenitud de sus facultades. Fue una de las últimas víctimas del Terror en el que había desembocado una revolución que empezó enarbolando las banderas de la libertad y la igualdad con la toma de la Bastilla el 14 de julio de 1789. Siguió la Declaración de los Derechos del Hombre, hecha a imagen y semejanza de la formulada en las recién independizadas colonias americanas. Inicialmente mantuvo al rey Luis XVI en el trono, aunque limitando sus poderes, pero las sospechas de traición y, sobre todo, el hambre y la inflación terminaron derribándolo y llevándolo a la guillotina en enero de 1793. La reina María Antonieta sufrió el mismo destino en octubre de ese año.

El Terror terminó ahogándose en su propia sangre y Maximilien Robespierre, su principal líder, fue guillotinado el 28 de julio de 1794. Para Lavoisier ya era tarde. Haber trabajado en una institución tan odiada como la Ferme era motivo más que suficiente para perder la cabeza en una época tan turbulenta. Pero en el caso del científico hubo un motivo adicional: su incapacidad para imaginar el abismo de miseria en el que podía caer el ser humano; no los desesperados por el hambre, sino los que ocupando posiciones desahogadas eran capaces de albergar el más ruin de los resentimientos. Tampoco supo escuchar los avisos que se iban sucediendo.

El primero fue el de Marat, quien en un artículo de *L'Ami du Peuple* de enero de 1791 hizo de Lavoisier el blanco de sus odios. No era para menos, ya que era el símbolo de lo que él no había conseguido: el reconocimiento de sus colegas científicos y un lugar en el templo de la ciencia. Lavoisier no le prestó atención y siguió sirviendo a Francia, plasmando sus sueños de educación y ciencia en un informe que ofreció a la República.

El segundo aviso llegó con una iniciativa de su compañero el químico Fourcroy, coautor de la *Nomenclatura*, quien a comienzos de 1792 pidió que se exigiera a los académicos una declaración de lealtad a la República. La Academia respondió, y en ello se reflejaba sin duda la opinión de Lavoisier, que no eran las ideas políticas lo que se valoraba para pertenecer a la institución, sino los méritos científicos. Fourcroy no olvidó la humillación y se convirtió en uno de los peores enemigos de la Academia.

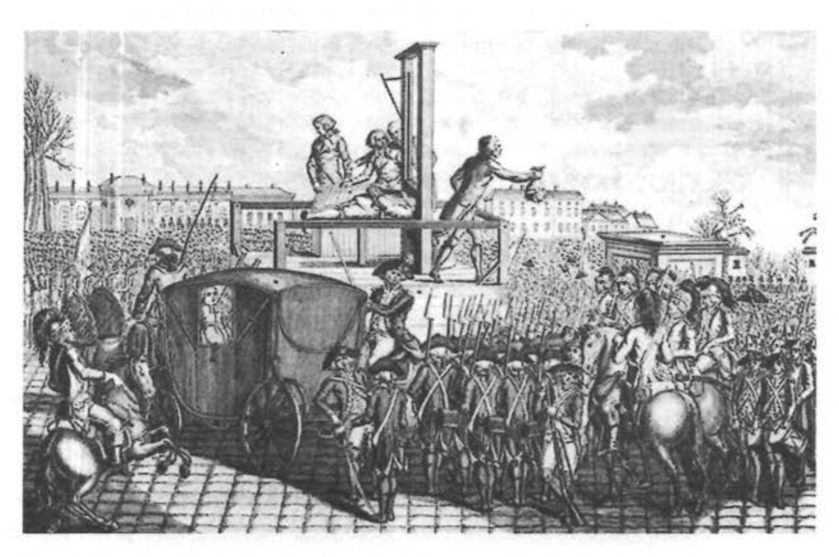
No obstante, fue la oratoria del pintor Jacques-Louis David, amigo de Antoine, maestro de Marie y pintor de ambos, quien dio la puntilla a las academias. Demasiado genial en su juventud para entrar en los encorsetados moldes de la Academia de Pintura, su acceso a la misma fue denegado varias veces por motivos fútiles. Llegado el momento, empleó ante la Convención su oratoria vibrante para transmitir su idea de que la Academia de Pintura, y por ende todas las academias, eran el símbolo más recalcitrante del Antiguo Régimen, por lo que pidió su aniquilación «en el nombre de la justicia, en el nombre del amor al arte y, sobre todo, en el nombre del amor a la juventud».

El decreto de cierre de las academias se emitió en agosto de 1793. Lavoisier no pudo quedarse callado ante lo que él consideraba un atropello a la ciencia y un ataque a la que había sido su casa durante la mayor parte de su vida. Hizo lo que mejor sabía hacer: escritos, informes, memorandos. Mientras tanto, el resto de los miembros de la Academia guardaban un prudente silencio, cuando era a él a quien como antiguo *fermier* empezaban a llamar «chupasangre» y pedían su cabeza.

Tampoco escuchó el último aviso cuando el 24 de noviembre llegó la orden de arresto de los *fermiers* y él pudo escapar y esconderse. No huyó de Francia, ni siquiera se fue a su finca de Fré-

LA GUILLOTINA

Cuando el 1 de diciembre de 1789 el doctor Joseph-Ignace Guillotin (1738-1814) dijo ante la Asamblea que «con mi máquina podría cortarles la cabeza en un abrir y cerrar de ojos, y no lo notarían» no era consciente de que estaba asociando su nombre al símbolo más siniestro de la Revolución. Este médico progresista, que más tarde introdujo los procesos de vacunación en Francia, pensó que el empleo de la máquina que había diseñado junto con el cirujano Antoine Louis ahorraría sufrimientos a los condenados a muerte. Hasta entonces las ejecuciones se realizaban empleando métodos mucho más cruentos: hachas o espadas, que no siempre decapitaban al primer tajo, para los nobles; horcas y las terribles ruedas que descoyuntaban, en el caso de los plebeyos. La eficacia de lo que Guillotin había previsto como el paso previo a la eliminación definitiva de la pena de muerte se convirtió en el arma más terrible en el período del Terror. Su disgusto y el de su familia fueron tales que se cambiaron el nombre. Muchas de las víctimas de la infernal máquina, entre ellas Luis XVI y Lavoisier, murieron en la que acababa de ser bautizada como Plaza de la Revolución. Lavoisier y Guillotin habían trabajado juntos en la comisión de la Academia que en 1784 examinó los supuestos casos de magnetismo animal inducidos por el doctor Mesmer. La comisión llegó a la conclusión de que Mesmer era un charlatán.



Ejecución de Luis XVI el 21 de enero de 1793 en la Plaza de la Revolución, el mismo lugar donde sería ejecutado Lavoisier.

chines; en lugar de eso dirigió una carta a la Convención. Esta fue remitida al Comité de Instrucción Pública, que entonces presidía Guyton de Morveau, otro de los coautores de la *Nomenclatura*. Este «amigo» ni siquiera le contestó.

Entonces Lavoisier, en un alarde de valentía o de insensatez, se entregó. Estaba convencido de que la República no podía castigar a uno de sus más fieles y leales servidores. No era la arena política la que Lavoisier dominaba, sino la más callada del laboratorio:

> Para servir bien a la humanidad y al país no es necesario ocupar puestos de gran responsabilidad en oficinas públicas ocupadas en la organización y regeneración de imperios. El hombre de ciencia también puede servir a su país en el silencio de su laboratorio y su estudio: con su trabajo puede tener la esperanza de hacer que disminuyan la suma de los males que afligen al ser humano e incrementar su disfrute y felicidad. Si fuera capaz de contribuir con sus descubrimientos a prolongar en algunos años, incluso en algunos días, la esperanza de vida del hombre, puede aspirar al glorioso título de benefactor de la humanidad.

LA CIUDADANA LAVOISIER

Hay abundante documentación sobre el comportamiento de Marie en los años convulsos del Terror, cuando no dudó en arriesgar su vida para salvar las de su marido y su padre. Los visitó a menudo en la cárcel y se ocupó de que tuvieran todo lo que el dinero podía comprar. La última carta que le escribió Antoine desde la prisión da fe del agradecimiento que el científico sintió por ello:

> Mi carrera está avanzada y siempre he disfrutado de una vida feliz. Ello ha sido gracias a ti y continúa siéndolo por las muestras de cariño que me das. Cuando me haya ido, seré recordado con respeto. Mi trabajo está hecho, pero tú, que no tienes ningún motivo para no esperar una larga vida, no debes desaprovecharla.

EL CONDE DE RUMFORD



El conde de Rumford en un retrato de 1872.

En 1804 Marie se casó con Benjamin Thompson, conde de Rumford (1753-1814). Su segundo marido resolvería la única gran pifia científica de Antoine: la atribución de materia al «calórico». Aparte del interés por entender la esencia del calor y comprender los fenómenos físicos del mundo que les rodeaba, Lavoisier y Thompson tenían poco en común, aunque ambos nombres estuvieron unidos mientras Marie estuvo casada con el segundo. Así, mientras que el máximo interés de Antoine era servir a su país, el del conde era servirse a sí mismo. Paradójicamente, aunque Rumford estuvo a punto de morir embreado y emplumado por sus compatriotas de Massachusetts por traidor, y luego tuvo que huir de casi todos los lugares donde trabajó por problemas de sobornos y comportamientos deshonestos, a diferencia de Antoine terminó falleciendo en su cama. Pero a pesar de carecer de motivaciones altruistas, Rumford inventó y construyó numerosos dispositivos útiles y no solo para sus contemporáneos, pues, por ejemplo, su diseño de chimenea es el que se sigue usando en la actualidad. Su contribución más notable a la ciencia fue demostrar la naturaleza del calor como proceso de transmisión de la energía, descartando que fuera un ente material, el «calórico», una entelequia análoga al flogisto, que Lavoisier no supo desenmascarar. Como no podía ser de otra forma, la relación de Rumford con Marie, a la que llegó a calificar de «mujer-dragón», terminó llena de «calórico» cuando, tras una de sus discusiones, Marie achicharró las rosas preferidas del conde con agua hirviendo.

Pero Marie no limitó su asistencia a los encarcelados a las visitas. Antes y después del juicio llamó a todas las puertas, buscó la ayuda de amigos y conocidos dentro y fuera de la Asamblea. Exigió, amenazó, argumentó... Ella pedía justicia, no gracia. Desafortunadamente, en esas circunstancias lo único que quizá po-

dría haber salvado a Antoine Lavoisier y Jacques Paulze habría sido un ruego, una súplica, algo que no fue capaz de hacer Marie, demasiado orgullosa para humillarse ante un jacobino. Así es que el 8 de mayo de 1794 vio como ambos, junto con otros 26 *fermiers*, fueron guillotinados en poco más de media hora —menos de dos minutos por ejecución, la máquina del doctor Guillotin era verdaderamente eficiente—. Marie fue la única familiar presente, las otras esposas de los *fermiers* habían huido de París para escapar de la cuchilla de la guillotina que también podía caer sobre ellas.

«No les ha hecho falta más que un momento para cortar su cabeza y puede que cien años no basten para producir una parecida.»

— **Joseph-Louis Lagrange, 9 de mayo de 1794.**

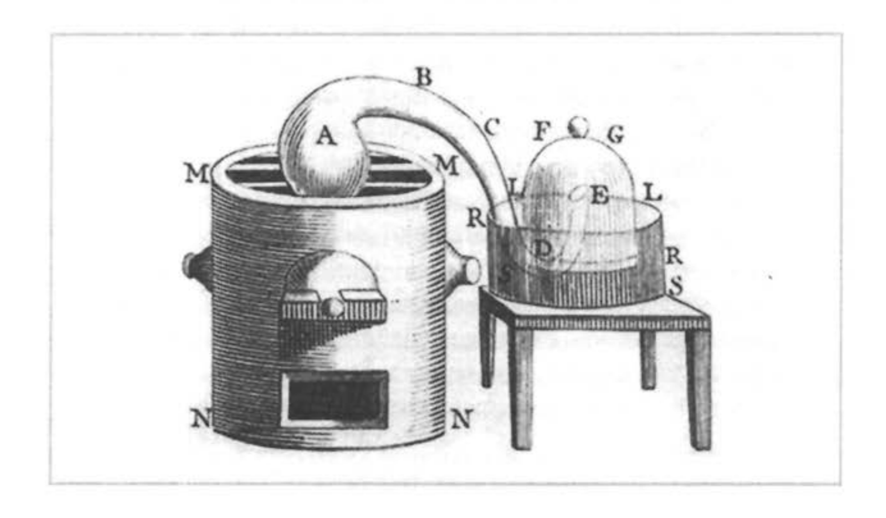
La guillotina no era algo que atemorizara a Marie, la cual poco después de la muerte de su esposo y de su padre fue encarcelada y, más tarde, tuvo que vivir de la caridad de un antiguo sirviente. Cuando la fortuna y los documentos de Antoine le fueron restituidos, empleó todas sus energías en restaurar el nombre de su marido y en completar su trabajo con la publicación póstuma de sus memorias. Siendo consciente de la importancia del legado de Lavoisier, no escatimó esfuerzos para mantenerlo vivo. Y lo consiguió.

Anexo

EL EXPERIMENTO DE LAVOISIER

El texto siguiente está extraído del *Tratado elemental de química* (1789) del propio Lavoisier:

> Tomé un matraz A de unas 36 pulgadas cúbicas de capacidad con un largo cuello BCDE, de seis o siete líneas de diámetro interno, doblándolo tal y como se indica en la figura, para poderlo poner



en el horno MMNN, de tal forma que el extremo de su cuello E pudiera insertarse en el recipiente con mercurio RRSS; introduje cuatro onzas de mercurio puro en el matraz y, con ayuda de un sifón, extraje el aire de la campana FG, de forma que el mercurio llegó al nivel LL, y marqué cuidadosamente la altura a la que estaba mediante un trozo de papel. Habiendo anotado la altura del termómetro y el barómetro, encendí el fuego en el horno MMNN, que estuvo encendido ininterrumpidamente durante doce días, de forma que mantuve el mercurio muy próximo a su temperatura de ebullición.

El primer día no ocurrió nada reseñable: el mercurio, aunque no hervía, se evaporaba constantemente y cubría el interior de la superficie de la vasija con pequeñas gotas, al principio diminutas, que aumentaban a un tamaño suficiente, tras lo cual caían sobre la masa de mercurio en el fondo de la vasija. El segundo día comenzaron a aparecer pequeñas partículas rojas en la superficie del mercurio, la cuales durante los cuatro o cinco días siguientes aumentaron gradualmente en tamaño y número, tras lo cual dejaron de aumentar en ambos aspectos. Al final del día doce, viendo que la calcinación del mercurio no aumentaba en absoluto, apagué el fuego y dejé enfriar las vasijas. La masa de aire en el cuerpo y en el cuello del matraz y en la campana de vidrio se redujo a 28 pulgadas del barómetro y 10 °R del termómetro[1]; al comienzo del experimento era de 50 pulgadas cúbicas. Al final del experimento el aire restante, reducido a la misma presión y temperatura, era solo de entre 42 y 43 pulgadas cúbicas; por consiguiente, había perdido en torno a 1/6 de la cantidad inicial. A continuación, habiendo recogido todas las partículas rojas formadas durante el experimento del mercurio sobre el que flotaban, encontré que pesaban 45 granos.

Tuve que repetir el experimento varias veces, porque es difícil en un experimento preservar todo el aire sobre el que se opera y recoger todas las partículas rojas, o cal de mercurio, formadas durante la calcinación. El aire que quedó tras la calcinación del mercurio en este experimento, y que se había reducido a 5/6 de la cantidad inicial, no era apropiado ni para la respiración ni para

1 Escala termométrica Réaumur, en la cual el hielo funde a 0° y el agua hierve a 80°.

la combustión. Los animales que se introducían en él se sofocaban en unos pocos segundos, y cuando se introducía una astilla ardiendo, se apagaba como si se hubiera metido en agua. A continuación, tomé los 45 granos de materia roja formada durante este experimento, que puse en una pequeña retorta de vidrio, que contaba con un recipiente apropiado para recibir los productos líquidos o gaseosos que se pudieran producir. Aplicándole fuego a la retorta en el horno observé que, conforme la sustancia roja se calentaba, la intensidad de su color aumentaba. Cuando la retorta estaba casi al rojo vivo, la cantidad de materia roja comenzó a disminuir, y pocos minutos después había desaparecido completamente. Simultáneamente, se recogieron 41,5 granos de mercurio líquido en el recipiente, y en la campana de vidrio, 7 u 8 pulgadas cúbicas de un fluido elástico, mucho más capaz de soportar la respiración que el aire atmosférico.

Una parte de este aire, puesto en el tubo de vidrio de una pulgada de diámetro, mostró las siguientes propiedades: una astilla ardía en él con un resplandor cegador, y el carbón, en lugar de consumirse lentamente como lo hace en el aire común, se quemó con una llama junto con un ruido de crepitación, como el fósforo, y emitía tanta luz que los ojos apenas podían soportarlo. Esta especie de aire fue descubierta casi al mismo tiempo por el doctor Priestley, el señor Scheele y yo mismo[2]. El doctor Priestley lo llamó aire «deflogisticado», el señor Scheele aire «empyreal»; al principio yo lo llamé «aire eminentemente respirable», después sustituí este nombre por el término «aire vital». Veremos más adelante qué hacer con estas denominaciones.

Reflexionando sobre las circunstancias de este experimento, percibimos que el mercurio, durante su calcinación, absorbe la parte saludable y respirable del aire, o para hablar con mayor precisión, la base de este aire respirable; que la parte restante del aire es una especie de mofeta, incapaz de mantener la respiración o la combustión, y, en consecuencia, que el aire atmosférico está compuesto de dos fluidos elásticos de cualidades opuestas. Como prueba de

---

2 Esta mención tardía a Priestley y Scheele no puso fin a una controversia que persiguió a Lavoisier toda su vida, e incluso un par de siglos después de muerto.

esta importante verdad, si combinamos esos dos fluidos elásticos, que hemos obtenido de forma separada en el experimento descrito más arriba, es decir, las 42 pulgadas cúbicas de la mofeta con las 8 pulgadas cúbicas de aire respirable, reproducimos un aire precisamente similar al de la atmósfera, poseyendo casi el mismo poder de mantener la combustión y la respiración, y de contribuir a la calcinación de los metales.

Lecturas recomendadas

ASIMOV, I., *Breve historia de la química*, Alianza Editorial, 2006.

GAMOW, G., *Biografía de la física*, Madrid, Alianza Editorial, 2007.

GRIBBIN, J., *Historia de la ciencia, 1543-2001*, Barcelona, Crítica, 2003.

LAVOISIER, A.-L., *Tratado elemental de química*, Barcelona, Crítica, 2007.

LEICESTER, H.M., «Lavoisier y la fundación de la química moderna», capítulo 15 de *Panorama histórico de la química*, Madrid, Editorial Alhambra, 1967.

MARTÍN, G., *La química de Lavoisier*, La Orotava (Tenerife), Fundación Canaria Orotava de Historia de la Ciencia, 2004.

PELLÓN, I., *Lavoisier: un químico ilustrado*, Madrid, Nivola, 2002.

Índice